

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ
ИЗВЕСТИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК РЕСПУБЛИКИ АРМЕНИЯ
PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF ARMENIA

ISSN 0515-961X

ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ ԵՐԿՐԻ ՄԱՍԻՆ
НАУКИ О ЗЕМЛЕ
EARTH SCIENCES



2011

Հանդեսը հիմնադրվել է 1948 թվականին, լույս է տեսնում տարին երեք անգամ
հայերեն, ռուսերեն և անգլերեն լեզուներով

Գլխավոր խմբագիր՝
Ռ.Տ. ՋՐԲԱՇՅԱՆ

Պատասխանատու քարտուղար՝
Ռ.Ս. ՄՈՎՍԵՍՅԱՆ

Խմբագրական կոլեգիա՝
Ա.Վ. ԱՎԱԳՅԱՆ, Ա.Հ. ԱՂԻՆՅԱՆ, Հ.Ռ. ԲԱԴԴԱՍԱՐՅԱՆ,
Ս.Վ. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ, Է.Ե. ԽԱՉԻՅԱՆ, Ա.Ս. ԿԱՐԱԽԱՆՅԱՆ,
Ս.Ս. ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ, Խ.Բ. ՄԵԼԻՔՍԵԹՅԱՆ, Ռ.Լ. ՄԵԼԿՈՆՅԱՆ,
Ռ.Տ. ՄԻՐԻՋԱՆՅԱՆ, Ս.Ն. ՆԱԶԱՐԵԹՅԱՆ, Ն. Հ. ԳԱԲՐԻԵԼՅԱՆ

Главный редактор
Р.Т. ДЖРБАШЯН

Ответственный секретарь
Р.С. МОВСЕСЯН

Редакционная коллегия
А.В. АВАГЯН, А.О. АГИНЯН, А.Р. БАГДАСАРЯН,
С.В. ГРИГОРЯН, А.С. КАРАХАНИЯН, Х.Б. МЕЛИКСЕТАН,
Р.Л. МЕЛКОНЯН, Р.Т. МИРИДЖАНИЯН, С.Н. НАЗАРЕТЯН,
С.М. ОГАНЕСЯН, Э.Е. ХАЧИЯН, Н. А. ГАБРИЕЛЯН

Editor in Chief
R.T. JRBASHYAN

Senior Secretary
R.S. MOVSESYAN

Editorial Board
A.V.AVAGYAN, A.H. AGHINYAN, H.R. BAGHDASARYAN,
S.V. GRIGORYAN, S.M. HOVHANNISIAN, A.S. KARAKHANYAN,
E.Y. KHACHIAN, Kh.B. MELIKSETIAN, R.L. MELKONYAN,
R.T. MIRIJANYAN, S.N. NAZARETYAN, N. H. GABRIELIAN

Խմբագրության հասցեն՝ 0019, Երևան-19, Մարշալ Բաղրամյանի պող. 24ա
Адрес редакции: 0019, Ереван, пр. Маршала Баграмяна, 24а
Editorial address: 24a, Marshal Baghramyan ave., Yerevan, 0019, Republic of Armenia
E-mail: geoscience @ geology. am
© Издательство “Гитутюн” НАН РА
Известия НАН РА, Науки о Земле, 2011

**ՀՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ
ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ ԵՐԿՐԻ ՄԱՍԻՆ**

ԹԻՎ 3	ՀԱՏՈՐ 64	2011
--------------	-----------------	-------------

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

Ա.Է. Ղազարյան Ուժեղ երկրաշարժերի հիդրոերկրաքիմիական նախանշաններն ըստ «Քաջարան» հորատանցքի դիտարկումների տվյալների և նրանց կապը երկրաշարժի նախապատրաստման պրոցեսի հետ	3
Ա.Վ. Ավագյան Գրավիտացիայի և հրաբխային ակտիվության հետ կապված խախտումները Հայաստանի Հանրապետության տարածքի օրինակով	14
Է. Գ. Գյոդակյան, Ս. Մ. Հովհաննիսյան Հայաստանի կենտրոնական մասի թույլ սեյսմիկության ակտիվացման մասին	27
Ա. Ա. Սահակյան, Ս. Հ. Նազարեթյան, Գ. Վ. Սարգսյան Միջավայրի որոշ կարևոր պարամետրերի գնահատումն ըստ «Մտեփանավան» ԸՀՄԿ շրջանցման կողաների	40
Ա. Հ. Սիմոնյան, Մ. Վ. Օհանյան, Ա. Ս. Խաչատրյան Արտաքին աղբյուրների վարիացիաների վերլուծությունը Հայաստանի տարածքում մագնիսական դիտարկումների տվյալների հետ համադրման եղանակով	50

ՀԻՇԱՐԺԱՆ ՏԱՐԵԹՎԵՐ

Մ. Ա. Ֆավորսկայա (ծննդյան 100-ամյակին)	61
Ս. Ս. Դարբինյան (ծննդյան 80-ամյակին)	64

ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ԿՈՂՈՒՍՏՆԵՐ

Հ. Ա. Ղազարյան (1921-2011)	66
---	----

СОДЕРЖАНИЕ

А. Э. Казарян. Гидрогеохимические предвестники сильных землетрясений по результатам наблюдений в скважине “Каджаран” и их связь с процессом подготовки землетрясения	3
А. В. Авагян. Разрывы, связанные с гравитацией и вулканической активностью на примере территории Армении	14
Э. Г. Геодакян, С. М. Оганесян. Об активизации слабой сейсмичности Центральной части Армении	27
А. А. Саакян, С. Н. Назаретян, Г. В. Саргсян. Оценки некоторых важных параметров среды на основе огибающих коды ЧИСС “Степанаван” ...	40
А. О. Симонян, М. В. Оганян, А. С. Хачатрян. Анализ вариаций внешних источников в сопоставлении с данными магнитных наблюдений по территории Армении	50

ПАМЯТНЫЕ ДАТЫ

М. А. Фаворская (к 100-летию со дня рождения).....	61
---	----

С.С. Дарбинян (к 80-летию со дня рождения).....	64
--	----

ПОТЕРИ НАУКИ

Г.А. Казарян (1921 – 2011).....	66
--	----

TABLE OF THE CONTENT

A.E.Kazarian. Hydro geochemical precursors of strong earthquakes on the results of observations in the well “Kajaran” and their relationship to the process of earthquake prepar	3
A.V.Avagyan. Reptures related with gravitation and volcanic activity on examples of Armenia territory	14
E.G.Geodakyan, S.M.Hovhannisyan On activation of low seismicity in the central Part of Armenia	27
A.A.Sahakyan, S.N.Nazaretyan, G.V.Sargsyan Esimation of some important environmental parameters on the basis coda envelopes at “Stepnavan” FSSS	40
A.O.Simonyan, M.V.Ohanyan, and A.S.Khachatry Analysis of the variations of external origins in comparison with the datas of geomagnetic observations by territory of Armenia	50

MEMORABLE DATAS

M.A.Favorskaya (to 100th anniversary)	61
S.S.Darbinyan (to 80th anniversary)	64

LOSSES OF THE SCIENCE

H.A. Kazaryan (1921 – 2011)	66
--	----

**ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПРЕДВЕСТНИКИ СИЛЬНЫХ
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ НАБЛЮДЕНИЙ В СКВАЖИНЕ
“КАДЖАРАН” И ИХ СВЯЗЬ С ПРОЦЕССОМ ПОДГОТОВКИ
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ**

© 2011 г. А. Э. Казарян

9168 N Price Fresno CA USA 93720

armenkazarian@hotmail.com

Поступила в редакцию 28.10.2011г.

Приведен анализ предвестника “геохимическое затишье” в связи с динамикой процесса подготовки сильного землетрясения. Теоретическая модель подготовки сейсмического события основана на периодичности активизации геодинамических процессов в регионе и на продолжительности появления геохимического предвестника. Динамика подготовки сейсмического процесса определена как периодическая, с нарастанием экспоненциально к моменту сильного сейсмического события. Посредством наблюдения за динамикой изменения химических компонентов в воде наблюдательной скважины установлена качественная связь между сейсмическими событиями различной силы в регионе.

В статье впервые на основе мониторинга гидрогеохимического временного ряда наблюдательной скважины установлен характер процесса подготовки землетрясения как процесса, протекающего в режиме экспоненциального нарастания во времени при приближении к землетрясению. Процесс связан с увеличением количества землетрясений, приносящих стресс в эпицентр будущего сейсмического события. От этого процесса зависит также закономерное увеличение частоты колебаний измеряемых параметров. Понимание динамики процесса подготовки землетрясения имеет самое непосредственное отношение к его прогнозированию. Проблема прогноза, находясь в центре внимания наук о Земле, остается пока нерешенной (Geller et al., 1997). Имея на сегодня более двух сотен предвестников различной природы и топологии, исследователи испытывают трудности в соотношении характеристик этих предвестников и параметров будущего землетрясения. Сложность состоит в том, что предвестники имеют самую различную природу, и их проявления непостоянны перед каждым отдельным событием.

Интересно, что противники и сторонники прогноза интерпретируют наличие предвестников землетрясений различным образом. Сторонники прогноза считают, что появление многочисленных предвестников свидетельствует о том, что прогноз возможен, его реализация зависит лишь от правильности их интерпретации. Оппоненты утверждают, что многообразие предвестников и непостоянство их проявлений указывают на их хаотическую природу, не подлежащую прогнозированию. Такое “разночтение”, как нам кажется, является следствием отсутствия общепринятой концепции, описывающей модель подготовки землетрясения. Не вдаваясь в

подробности теоретической дискуссии по возможности прогноза землетрясений в целом, отметим, что прогноз сильных сейсмических событий, в связи с возросшей в мире урбанизацией, с каждым годом становится всё более необходим, а работы в этой области становятся все более актуальными.

В настоящее время общепринято, что землетрясения имеют продолжительный этап подготовки. Это позволяет надеяться, что динамика процесса может быть отслежена за достаточно долгое время, предшествующее землетрясению. Время и характер проявления предвестников при этом могут варьировать в широких пределах - от проявления в самом начале процесса до проявления непосредственно перед событиями. Топология и амплитуда предвестников также может быть совершенно различной, что делает практически достаточно трудным их выявление и сопоставление с будущими землетрясениями. В этом контексте выделение более или менее постоянных предвестников является довольно сложной задачей и могло бы явиться хорошей основой для прогноза землетрясений.

Прогноз землетрясения, сводящийся к определению места, времени и силы будущего события, является задачей, для решения которой необходимо представить и отследить весь процесс его подготовки. При проведении достаточно длительного мониторинга по выявлению различных стадий процесса подготовки сейсмического события ожидается, что само событие можно будет прогнозировать с достаточной точностью.

Для реализации такого наблюдения на территории Армении силами АрмНИГС ГЕОХИ АН СССР с 1978 г. проводился непрерывный мониторинг химического состава вод наблюдательных скважин в Каджаране, Ара-рате и Суренаване. Эти исследования в дальнейшем проводились в составе НССЗ РА большим коллективом исследователей под руководством Р.Г.Геворкяна и В.А.Игумнова. Составлялись длительные временные ряды исследований при шаге опроса наблюдательных пунктов один раз в сутки. Анализ вариаций состава химических компонентов, таких как Na, K, Cl, SO₄, HCO₃, Ne, Mg, Eh, pH, F, а также температуры и расхода воды составил основу для данного исследования. Чистота отбора проб воды обеспечивалась параллельным контрольным опробованием, а точность химических анализов - проведением внутрилабораторного контроля раз в месяц и межлабораторных контрольных анализов раз в три месяца. Различными экспериментальными исследованиями точность анализов была доведена до 2-3%. Аналитические работы проводились под руководством З.Г.Степанян. Огромный фактический материал, собранный в результате мониторинга, является весьма представительным. Автор данной статьи принимал непосредственное участие в проводимых исследованиях как в составе ГЕОХИ, так и в составе НССЗ с 1988 по 1994 гг., занимаясь сбором фактического материала и его обработкой методами математического анализа. Работы, проводимые по данной тематике в Таджикистане на месторождениях Файзабад и Явроз под руководством А.А.Беляева в

лаборатории геохимического прогноза землетрясений в ГЕОХИ АН СССР, фактически прекратились после распада СССР.

В процессе исследования гидрогеохимических предвестников землетрясений в Армении на пункте наблюдения “Каджаран” нами ранее был выделен качественно новый тип предвестника, названный “геохимическим затишьем” по аналогии с сейсмическим затишьем, выделяемым иногда перед сильными землетрясениями (Mogi, 1985). Особенность геохимического затишья состояла в том, что прогнозным признаком считалось не аномальное значение измеряемых признаков, а скорее стабилизация среднего значения признака в измеряемых временных рядах. Таким признаком являлось значение медианы временного ряда измеряемых компонентов, рассчитываемое в плавающем временном окне с апертурой 14 дней. Длительность проявления данного предвестника перед сильными землетрясениями подтверждает тот факт, что сам процесс подготовки сейсмического события также имеет длительный период. Предвестник был установлен простым визуальным наблюдением перед Нарманским, 1983, М-6.9; Спитакским, 1988, М-6.9; Рудбарским, 1992, М-7.8 землетрясениями. В качестве демонстрации такого предвестника приведем его графический пример (Рис 1).

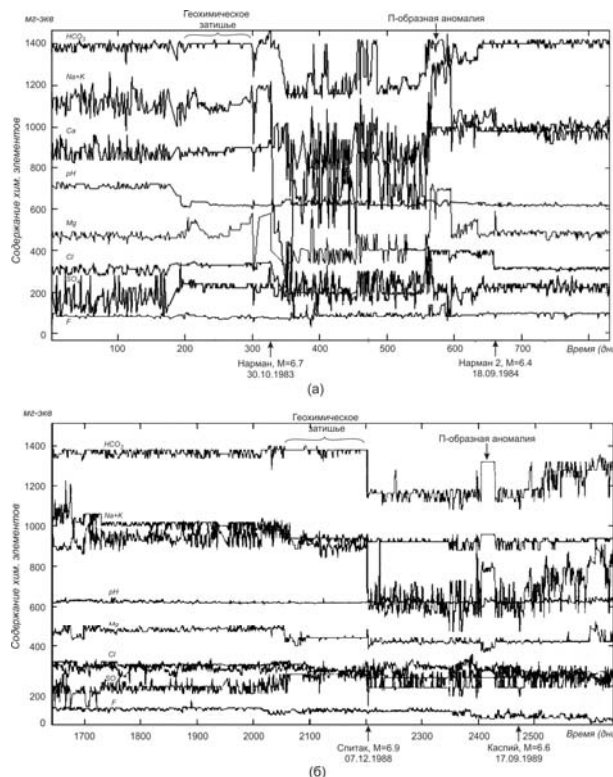


Рис.1. Проявление предвестника “ геохимическое затишье” перед Нарманским 1983г. и Спитакским 1988г. землетрясениями.

Как видно из приведенных графиков, предвестник в виде стабилизации значения медианы замеряемых временных рядов проявляется за 4-5 месяцев до сейсмического события и остается постоянным вплоть до основного толчка. В несколько неявном виде он проявляется также перед последующими после Нарманского и Спитакского землетрясениями с $M-6.4$ (1984.09.18; 40.88СШ, 42.22ВД) и $M-6.6$ (1989.09.17; 40.20СШ, 51.53ВД), проявляясь в виде П-образной аномалии, указанной на рисунке 1. Интересным является тот факт, что величины средних содержаний химических компонентов воды скважины принимают первоначальное значение после этих двух сейсмических событий, реакция на которые “завершает” гидрогеохимическую реакцию состава воды скважины на Нарманское и Спитакское землетрясения соответственно.

Данное наблюдение вскрывает некую связь между Нарманским и Спитакским землетрясениями и следующими после них сейсмическими событиями, практически хорошо выделяемую по динамике химического состава воды скважины. Общая схожесть поведения гидрогеохимических компонентов в воде наблюдаемой скважины перед Спитакским и Нарманским событиями позволяет предположить, что как процесс их подготовки, так и динамика развития геодинамического процесса после реализации главного толчка проходили по схожему “сценарию”.

Предвестник “геохимическое затишье”, в свою очередь, проявляясь задолго до самих событий и, имея стабильный характер вплоть до самих землетрясений, позволяет говорить о динамике завершающего, самого интенсивного периода процесса подготовки сейсмического события, как об имеющем длительность в 4-5 месяцев и проходящем различные стадии. Выявление внутренней зависимости этого, наиболее интенсивного периода подготовки сильных сейсмических событий позволит приблизиться к пониманию динамики данного процесса.

Время появления геохимического и сейсмического затишья перед Спитакским и Нарманским землетрясениями совпадало. Это, возможно, определяется тем, что отсутствие возмущений от сейсмических событий перед сильными землетрясениями способствовало относительной стабильности химического состава воды наблюдаемой скважины. Приведем в качестве примера время появления геохимического затишья в сравнении с сейсмическим временным рядом, построенным на основе данных сейсмического каталога НССЗ.

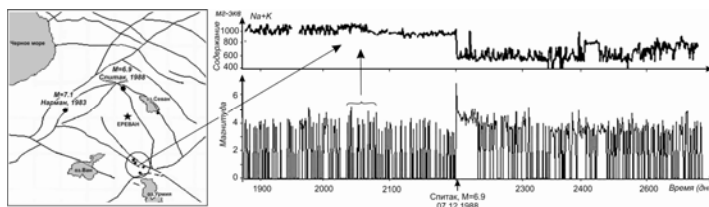


Рис.2. Связь между временем наступления предвестника “геохимическое затишье” и сейсмичностью региона.

Из приведенного рисунка видно, что время наступления геохимического затишья соответствовало времени появления относительно сильных (М-3.7) сейсмических событий в Урмийском очаге землетрясений (отмеченным на карте) и последующим после них относительным уменьшением сейсмической активности в регионе. Данное наблюдение позволяет проследить некую связь между этими сейсмическими событиями, имеющими среднюю силу и последующим сильным Спитакским землетрясением. Более детальное рассмотрение времени образования предвестника “геохимическое затишье” показывает, что период его становления также связан с сейсмическими событиями выше средней силы, произошедшими в районе прилегающем с севера-востока к оз. Ван.

Таким образом, может устанавливаться непосредственная связь как между динамикой сейсмических процессов в регионе и химическим составом воды в исследуемых скважинах, так и между самими сейсмическими событиями. Это обстоятельство позволяет употребить мониторинговые данные по химическому составу воды скважины как инструмент для отслеживания геодинамической активности в регионе. Преимуществами гидрогеохимического мониторинга являются его постоянство во времени, постоянный шаг опроса, а также привязанность к постоянной точке наблюдения. Процесс подготовки сейсмического события, как показано выше, хорошо отражается в изменениях химического состава воды в отдельно взятой точке наблюдения. Использование данных гидрогеохимического мониторинга позволяет изучить процесс нуклеации и роста очага землетрясения более детально.

Для выявления динамики процесса подготовки землетрясений необходимо представить общую модель этого процесса и определить какие фазы становления проходит процесс до его полного завершения в виде землетрясения. Для этого выдвигались теоретические модели процесса подготовки землетрясений, основанные на наблюдении в лабораторных условиях за процессами разрушения и аппроксимации этих выводов на реальные процессы, протекающие в природе. Эти модели важны тем, что принятие в качестве основы для исследований той или иной из них во многом определяет как ход этих исследований, так и интерпретацию результатов. В литературе имеется множество таких теоретических моделей процесса подготовки землетрясений. Мы приведем коротко наиболее известные из них.

Теория “дилатансии” впервые была выдвинута У.Брейсом и развита впоследствии А.Нуром из Стенфордского университета (Гир, Шах, 1988). Дилатансия обозначает увеличение объема горной породы при деформации. При движении земной коры в породах растут напряжения и образуются микроскопические трещины, которые меняют физические свойства пород, например, уменьшаются скорости сейсмических волн, проходящие через породу, увеличивается объем породы, меняется электросопротивление, которое возрастает в сухих породах и уменьшается во влажных.

Модель лавинно-неустойчивого трещинообразования (ЛНТ) создана специалистами из института Физики Земли АН РФ. Суть модели состоит в том, что различные стадии образования трещин (разных масштабов), сопровождаемые изменениями скорости деформирования в очаговой области и вне ее, неизбежно ведут к изменениям физических свойств среды. Это находит отражение и в вариациях сейсмического режима, т.е. в изменении числа слабых землетрясений, их величины и пространственного расположения (Соболев, 1989).

Широко развивается гипотеза появления землетрясения за счет крипа – постепенно ускоряющегося движения бортов уже существующего разлома. Классические лабораторные эксперименты в рамках этой гипотезы выполнил в США Дж.Дитрих (Соболев, 1989). Перед подвижкой, рассматриваемой как аналог землетрясения, на лабораторной модели землетрясения последовательно наблюдались два явления. Вначале регистрировался медленный (несколько сантиметров в секунду) крип, затем вдоль разлома или его части он экспоненциально ускорялся (до десятков и сотен метров в секунду), завершаясь динамической подвижкой и излучением сейсмических волн.

Можно привести еще много моделей подготовки землетрясений, таких как модель консолидации, модель неустойчивого скольжения, модель фазовых превращений и др. Но при их детальном рассмотрении оказывается, что достоинства моделей перекрываются их недостатками. Все рассмотренные выше модели зарождения и подготовки очага землетрясения основаны на попытке воспроизведения изучаемого процесса на модели его линейного развития, когда сила, генерирующая землетрясение, достигает своего максимума в момент самого землетрясения. Хотя в природе не существует чисто линейных процессов, тем не менее, в целом, представление об общем нарастании интенсивности процесса к моменту самого сейсмического события представляется логичным и должно в каком-то приближении соответствовать действительности. Не отрицая правомочности такого обобщенного подхода к процессу подготовки землетрясений, мы хотели бы обратить внимание на некоторые подробности динамики процесса нарастания тектонических напряжений в очаге будущего события.

Выявленная нами ранее особенность распределения сейсмичности на основе анализа суточной динамики сейсмических событий показала, что сейсмическая активность в регионе имеет ярко выраженную периодичность. Периоды колебаний сейсмичности составляют 12 часов, 24 часа, 14 и 28 дней (Казарян, 2011). Применение принципа Лапласа к выявленной периодичности позволяет констатировать, что силы, ответственные за генерацию землетрясений, имеют периодический характер, причем их период равен выделенным периодам колебания сейсмической активности. Данное обстоятельство позволяет по-новому взглянуть на динамику развития геодинамических процессов в относительно малом масштабе реального времени – от нескольких дней до нескольких лет.

Для прослеживания динамики короткопериодной активизации сейсмичности в гидрогеохимических рядах наблюдений длиной менее суток необходимо участить шаг опроса гидрогеохимических наблюдательных пунктов и довести его, как минимум, до одного раза каждые три часа. Такое опробование позволит точнее охарактеризовать 24 и 12 часовые периоды геодинамической активизации, которые при современном шаге опроса (один раз в день) проследить невозможно. Тем не менее анализ собранных данных при ежедневном шаге опроса наблюдательных пунктов позволяет выделить на качественном уровне новые детали процесса подготовки сейсмических событий в регионе.

Предлагаемая в данной статье модель подготовки сейсмического события содержит абстракцию процесса, относящуюся к динамике накопления тектонического напряжения в гипоцентральной зоне будущего землетрясения. В качестве такой зоны принято некое условное пространство горных пород, в котором более или менее линейному, однонаправленному движению микроблоков земной коры препятствует относительно неподвижный “блок”. Представим, что в процессе движения массы одноразмерных тектонических блоков в каком-то одном направлении “натываются” на некое неподвижное “препятствие” (зацеп). Такое “препятствие” в действительности будет иметь конечные размеры, однако в контексте региона может рассматриваться, как “точка” будущего гипоцентра землетрясения. Такая “точка” будет отличаться от остальных точек “геологического пространства” ввиду того, что всё взаимодействие между соседними микроблоками после образования “зацепа” будет происходить именно через нее.

Характер накопления стресса в процессе подготовки землетрясения в гипоцентре должен в какой-то мере подчиняться характеру активизации геодинамических процессов в регионе. В качестве подтверждения правомочности такой связи можно привести результаты исследований по замеру распределения остаточного стресса после сильных землетрясений на Северо-Анатолийском разломе, произведенные Р.Стейном (Stein, 1999). В данной работе показано, что выделившаяся после сильного землетрясения потенциальная энергия не диссипировалась в “геологическом пространстве” в виде тепла, а распределилась в виде дополнительного стресса в зоне разломов, прилегающей к эпицентру землетрясения. Предполагая, что процесс накопления тектонического напряжения в гипоцентре будущего события напрямую связан с динамикой сейсмического “режима” в регионе, можно считать, что и сам этот процесс имеет периодический характер. Экстраполируя данные наблюдения на слабые землетрясения и имея факт обнаружения их периодичности в регионе, можно с большой долей уверенности говорить, что при “достаточном количестве” слабых сейсмических событий процесс накопления тектонического стресса в эпицентре будущего сильного события должен носить элементы периодичности, аналогичные выделенным периодам сейсмической активизации. Учитывая, что процесс подготовки во времени при приближении к сейсмическому

событию также имеет нарастающий характер (сила вызывающая землетрясения достигает своего максимума к моменту основного события), можно с достаточной степенью уверенности полагать, что процесс накопления тектонического стресса в эпицентре будущего сейсмического события будет носить периодический нарастающий характер.

Полагая, что в процессе подготовки сейсмического события эпицентральная зона будущего землетрясения подвергается определенной консолидации, можно допустить, что количество энергии, приносимой “соседними” землетрясениями в гипоцентр будущего события, в целом, должно зависеть от количества последних и их удаленности от эпицентра. Фактическим подтверждением консолидации околоэпицентрального геологического пространства является связь между временем наступления выявленного предвестника “геохимическое затишье” и относительно сильными сейсмическими событиями в регионе. Исследования (Woith, Milkereit et al., 1998), проведенные в рамках программы исследования “READINES”, показали, что состав воды скважины формируется в результате смешения двух вод с различным составом. Очевидно, что консолидация пород перед сейсмическим событием и отсутствие заметных сейсмических событий в период сейсмического затишья могут привести к стабилизации химического состава воды скважины.

Отслеживая зависимость количества и магнитуды сейсмических событий от удаленности от условной точки пространства (зацепа), можно составить представление о степени нарастания энергии, приносимой в эпицентр будущего землетрясения. Для подтверждения и демонстрации эффекта увеличения количества воздействующих событий на условную точку геологической среды проведем следующий математический эксперимент. Подсчитаем зависимость количества землетрясений в транскавказском регионе в зависимости от удаленности от условной точки (скважина “Каджаран”). Выявленная зависимость хорошо видна на приведенном ниже рисунке 3.

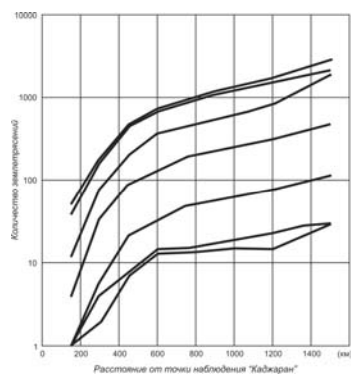


Рис. 3. Зависимость количества землетрясений от удаленности от скважины “Каджаран” для магнитуд выше M-3.5

Как видно из приведенного рисунка, количество привносимой в гипоцентральною область энергии, при условии, что она привносится “соседними” землетрясениями, а также при условии консолидации гипоцентрального пространства перед сильными сейсмическими событиями, должно возрастать экспоненциально. Принимая во внимание, что количество землетрясений, привносящих энергию в гипоцентрально пространство при увеличении консолидированного пространства увеличивается, можно допустить, что процесс подготовки сейсмического события должен также иметь нарастание по частоте воздействия.

Заключение и выводы

Анализ фактического материала показал, что процесс подготовки сейсмического события после образования сейсмического очага будущего землетрясения (зацепа) занимает длительный временной период, и динамика накопления стресса носит периодический характер с экспоненциально нарастающей амплитудой и частотой.

Установленная путем анализа мониторинговых данных связь между отдельными сейсмическими событиями в регионе позволяет подтвердить выявленные ранее Р.Стейном (Stein, 1999) явления накопления стресса в эпицентральной части будущего землетрясения посредством других землетрясений. Выявление периодичности в процессе подготовки сейсмического события позволяет по-новому оценить возможности предварительной оценки времени, места и силы будущего сейсмического события, при условии, что процесс накопления тектонического стресса можно будет с достаточной точностью отслеживать путем мониторинга химического состава вод исследуемых скважин. Предварительные оценки динамики изменения химического и газового состава воды скважины показывают, что такая возможность существует, если проводить детальный мониторинг содержания газов в воде скважины. Содержание газов в воде напрямую связано с величиной давления привносимого “соседними землетрясениями” в эпицентрально пространство будущего события. Данное утверждение хорошо подтверждается тем фактом, что момент наступления “геохимического затишья” перед сильными землетрясениями в регионе, как правило, соответствует времени локального максимума содержания гелия в растворенной в воде фазе. На рисунке 4 показан пример времени наступления предвестника “геохимическое затишье” и его связи с флуктуациями колебаний содержания гелия в воде скважины “Каджаран” в период подготовки Спитакского землетрясения М-6.9 (1988.07.12; 40.51СШ, 44.13ВД) и землетрясения в Каспийском море М-6.6 (1989.09.17; 40.20 СШ, 51.53 ВД).

Время наступления предвестника “геохимическое затишье” можно считать самостоятельным предвестниковым сигналом, наряду с активизацией флуктуаций содержания гелия в воде скважины, которая также может считаться предвестником землетрясения. В газовом составе воды

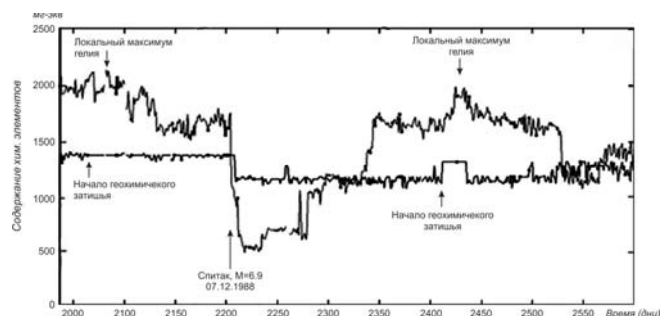


Рис.4. Совпадение времени появления предвестника “геохимическое затишье” и локального максимума содержания гелия в воде скважины “Каджаран” на примере Спитакского землетрясения (М-6.9) и землетрясения в Каспийском море (М-6.6).

наблюдательной скважины в основном представлены азот и углекислый газ, гелий представлен в небольшом количестве. Однако колебания количества гелия в составе воды являются хорошим индикатором низкочастотных колебаний давления в горных породах, чему способствует его химическая инертность.

Таким образом, чувствительность химического и газового состава воды к изменениям в динамике активизации геодинамических процессов является хорошим аргументом для его употребления с целью выявления более надежных и информативных гидрогеохимических предвестников землетрясений.

В качестве базовой рабочей модели для поиска может служить предложенная в данной работе модель процесса подготовки землетрясения. Существенным отличием приведенной модели от ранее предложенных является ее периодический характер. Данная модель нашла качественное подтверждение в проявлении гидрогеохимических предвестников наиболее сильных землетрясений в регионе.

ЛИТЕРАТУРА

- Войтов Г.И., Попов Е.А. Геохимический прогноз землетрясений. Природа, 1989, №12, с.60-64.
- Геохимические методы прогноза землетрясений. Наука, 1992, 212с.
- Гир Дж, Шах Х. Зыбкая твердь. М., Мир, 1988, 220 с.
- Казарян А.Э. Анализ сейсмодинамического состояния территории Армении как одного из факторов оценки текущей сейсмической опасности. Изв. НАН РА, сер.Науки о Земле, 2011, № 2, с.29-42.
- Соболев Г.А. Проблема прогноза землетрясений. Природа, 1989, № 12, с.47-55.
- Igumnov V., Kazarian A.. The geochemical precursors to earthquakes and the relaxation of geochemical parameters. Proceeding Scientific meeting on the seismic protection Venice . ATTI Colloquio scientific sulla protezione sismica Palazzo Balbi, Regione, 1995, p.148-151
- Igumnov V., Stepanian Z., Kazarian A. On the mechanism of the geochemical precursors to earthquake. Abstract on International Conference on Continental Collision zone: earthquake and earthquake hazard reduction. Yerevan, 1993, p.17

- Kazarian A., Igumnov V.** Some aspects of earthquake prediction by geochemical methods, Abstract on International Conference on Continental Collision zone: earthquake and earthquake hazard reduction. Yerevan, 1993, p.46.
- Mogi K.** Earthquake Prediction. Academic Press, New York, 1985, 382c.
- Stein R.** The role of stress transfer in earthquake occurrence. Nature 402, 1999, p.605-609.
- Woith H., Milkereit C., Zschau J., Igumnov V., Balassanian S., Avanesian, A.** Thermal and mineral waters as natural strain sensors. XXVI ESC European Seismological Commission, Abstracts volume, Tel- Aviv, 1998, p.35.

Рецензенты А.Р.Аракелян, Р.Т.Мириджанян

**ՈՒԺԵՂ ԵՐԿՐԱՇԱՐԺԵՐԻ ՀԻՂՐՈՇԿՐԱՔԻՄԻԱԿԱՆ
ՆԱԽԱՆՇԱՆՆԵՐՆ ԸՍՏ “ՔԱՋԱՐԱՆ” ՀՈՐԱՏԱՆՑՔԻ ԴԻՏԱՐԿՈՒՄՆԵՐԻ
ՏՎՅԱԼՆԵՐԻ և ՆՐԱՆՑ ԿԱՊԸ ԵՐԿՐԱՇԱՐԺԻ ՆԱԽԱՊԱՏՐԱՍՏՄԱՆ
ՊՐՈՑԵՍԻ ՀԵՏ**

Ա.Է. Ղազարյան

Ա մ փ ն փ ու մ

Տրված են երկրաշարժերի նախանշանների ի հայտ գալու որակական բնութագիրը և երկրաշարժերի նախապատրաստման փուլի տեսական մոդելը՝ հիմնված սեյսմիկ պրոցեսների ակտիվացման պարբերականության սկզբունքի վրա: Ստորերկրյա ջրերի քիմիական կազմի վարքագծի վերլուծությամբ բացահայտված է նրա փոփոխությունների բնույթը՝ կապված ուժեղ երկրաշարժերի հետ;

**HYDROGEOCHEMICAL PRECURSORS OF STRONG EARTHQUAKES ON
THE RESULTS OF OBSERVATIONS IN THE WELL “KAJARAN” AND THEIR
RELATIONSHIP TO THE PROCESS OF EARTHQUAKE PREPAR**

A.E. Kazarian

A b s t r a c t

The analysis of a precursor “ geochemical quiescence “ in connection with dynamics of process of preparation of strong earthquake is given. The character of preparation of strong seismic events in region is determined qualitatively. The theoretical model of preparation of seismic event, based on periodicity of activation of geodynamic processes in region and on duration of occurrence of a geochemical quiescence is given. Dynamics of preparation of seismic process is determined as periodic process with exponential increase of amplitude and increase of frequency toward the time of strong seismic event. By monitoring over dynamics of variation of chemical components in water the connection between different strong seismic events in the area has been established.

ՀՀ ԳԱՍ Տեղեկագիր, Գիտություններ Երկրի մասին, 2011, 64, № 3, 14-26

**ԳՐԱՎԻՏԱՑԻԱՅԻ ԵՎ ՀՐԱԲԻԱՅԻՆ ԱԿՏԻՎՈՒԹՅԱՆ ՀԵՏ ԿԱՊՎԱԾ
ԽԱՒՏՈՒՄՆԵՐԸ ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ՏԱՐԱԾՔԻ
ՕՐԻՆԱԿՈՎ**

© 2011 թ. Ա.Վ. Ավագյան

*ՀՀ ԳԱ Երկրաբանական գիտությունների ինստիտուտ,
0019, Երևան, Մարշալ Բաղրամյան, 24ա, Հայաստանի Հանրապետություն
E-mail : avagn@yahoo.com
Ներկայացվել է խմբագրություն 11.09.2011թ.*

Հոդվածում քննարկվում են Հայաստանի Հանրապետության տարածքում դիտարկված գրավիտացիոն, հիմնականում հրաբխածին կամ անորոշ ծագման մակերեսային խախտումները՝ ներկայացված հրաբխածին ցամաքային, լճային նստվածքներում, լավաներում խզումների և ճեղքերի համալիրներով: Խզումների կինեմատիկան և տարածման օրինաչափությունները ցույց են տալիս նրանց ծագման կապվածությունը հրաբխային կառույցների շրջանա-
ձևության և նրա կենտրոնի նկատմամբ տեղադիրքի հետ՝ ցուցաբերելով բազմակողմ տարածումներ, հաճախ ռադիալ-համակենտրոն բաշխվածություն կապված հրաբխային կառույցի ձևավորման կամ փլուզման (collaps) հետ: Նախաժայթքման տեղանքի դեֆորմացիաները, դայկաների ներդրումները, մագմայի տեղաշարժման միկրոցնցումները և նրա ժայթքման հիմնական ցնցումները փոխազդելով ծանրահալ ուժի հետ հանգեցնում են դիտարկված հրաբխածին, հրաբխատեկտոնական և գրավիտացիոն դեֆորմացիաներին:

1. Տեկտոնական և այլ ծագման խախտումների առանձնացման կարևորությունը:

ՀՀ տարածքը, գտնվելով Ալպ-Հիմալայան ծալքավոր գոտու Արաբա-Եվրասիական սալերի ցամաքային բախման կենտրոնական հատվածում, առանձնանում է բարձր սեյսմիկ և հրաբխային ակտիվությամբ:

Երկրաշարժերը, հարուցված ակտիվ խզումներով, այսինքն տեկտոնական բնույթի, բավական լավ ուսումնասիրված են: Վերջին տասնամյակներում սկսեցին կատարվել ուսումնասիրություններ ակտիվ տեկտոնիկայի և հրաբխականության փոխազդեցությունների տարածական (Джрбашян и др., 2002; Karakhanian et al., 2002; Avagyan et al., 2010) և ժամանակային (Karakhanian et al., 2003) բաշխվածության վերաբերյալ:

ՀՀ տարածքին վերաբերող ուսումնասիրություններում հրաբխա-
յին ակտիվությունը հարուցվում էր խզումնային ակտիվությամբ՝ տեկտոնական երկրաշարժերով: Սակայն, շատ սակավ ուսումնասիրություններ կան վերաբերող մեր տարածաշրջանի մակերեսային խախտումներին, որոնք հարուցված են հրաբխային

ակտիվությամբ, կապված են գրավիտացիոն (ծանրահակ) ուժի հետ և որոնց գոյացումը նույնպես կարող է գուցորդվել երկրաշարժերով (Милановский, 1968; Аванесян, 2004; Balassanian et al., 2001): Ընդհանրապես բոլոր երկրաբանական գործընթացներն ուղղակի կամ անուղղակի կերպով կապված են տեկտոնիկայի հետ: Անուղակի կապի պարագայում առանձնացնում են ոչ տեկտոնական ծագման խախտումներ: Օրինակ՝ մագմայի վերընթացը՝ կենտրոնական հրաբուխի տակ և դայկաների կողային ներդրումը՝ որպես կանոն, ուղեկցվում է շրջակա ապարների ճեղքավորմամբ՝ առաջացնելով կո-ինտրուզիվ սեյսմիկություն (Klein et al., 1987): Մակերեսային խախտումներ կարող են գոյանալ նաև ժայթքման ցնցումներից (shaking induced): Ժայթքումից հետո մագմատիկ ավազանի մագմայի ծավալի կրճատմամբ աճող հրաբխային կոների նստեցմամբ նույնպես կարելի է բացատրել խախտումների գոյացումը (Милановский, 1968): Սոլոնենկոն (1977) իր ուսումնասիրություններում առանձնացնում էր 7 թվացյալ տեկտոնական կառույցներ:

Հրաբխածին և տեկտոնական կառույցների տարանջատումը հաճախ կարող է լինել ոչ միանշանակ: Այստեղից էլ տերմինների այն բազմազանությունը, որոնք բնութագրում են մագմատիզմով պայմանավորված (այսուհետև հրաբխածին) կառույցները (մագմային-հարուցման (magma-induced), դայկային-ներդրումային (dike – ijection, dike-induced) կամ հիմնական ժայթքման ցնցումների հարուցման (McCalpin, 1996), որոնք առաջացնում են հրաբխային (կամ հրաբխածին) երկրաշարժեր (e.g. Foulger and Long, 1984): Հրաբխածին կառույց լինելու ամենակարևոր ցուցանիշները նրա ակրնհայտ տարածական կապն է հրաբխային մարմնի հետ և ժամանակային գոյացման համընկնումը հրաբխային կառույցների ձևավորման հետ: Հրաբխածին երկրաշարժերը, որպես կանոն առանձնանում են տարածական միգրացիայով, ունեն առանձնացող ֆոկալ մեխանիզմներ և տարբեր ալիքների տարածման առանձնահատկություններ:

Կիրառվում է նաև հրաբխատեկտոնական տերմինը, որը ենթադրում է տեկտոնական ակտիվություն կապված հրաբխային գործընթացների հետ:

Հրաբխածին երկրաշարժերը հազվադեպ են գերազանցում 5.5 մագնիտուդը և հիմնականում ունեն <4.5 մագնիտուդներ: Կալդերաների և կենտրոնական հրաբուխի հետ կապված հրաբխածին երկրաշարժերի հզորությունն ավելի մեծ է ($M_{6.5-7.0}$), ինչը կապված է ավելի խոշոր կառուցվածքների ձևավորման հետ: Նմանատիպ օրինակ է գրանցվել 1912թ. Կատմայի կալդերայի աղետալի փլուզման ժամանակ (Ալյասկա, մագնիտուդը 7.0 (Ms)) (Abe, 1992; McCalpin, 1996):

Ի տարբերություն հրաբխածնի՝ հրաբխատեկտոնական երկրաշարժերի մագնիտուդներն ավելի մեծ են՝ տատանվելով 4.3-ից մինչև 8 (Հավայան կղզիներ) և ունեն լավ արտահայտված

տեկտոնական ցնցումներին հատուկ ցնցումների բաշխում (նախացնցումներ, հիմնական ցնցում, հետցնցումներ):

Տնտեսության, հատկապես շինարարության համար մակերեսային խախտումների հայտնաբերումը և քարտեզագրումը հույժ կարևորություն ունեն: Սակայն կարևոր է նաև նրանց ծագումնաբանությունը, քանզի, ինչպես պարզաբանվեց վերևում, ի տարբերություն տեկտոնական կամ հրաբխատեկտոնական երկրաշարժերի՝ հրաբխածիններն ունեն ավելի փոքր մագնիտուդներ: Այս խախտումներն ունեն ավելի փոքր, մեծ մասամբ մինչև 1մ-ի հասնող տեղաշարժեր: Ավելին, եթե տեկտոնական խզումների մակերեսային խախտումները կարող են որոշակի կրկնելիության միջակայքերով նորից ակտիվանալ, ապա հրաբխածին խախտումների ակտիվությունը, որպես կանոն, ավարտվում է հրաբխային մարմնի ձևավորման ավարտով: Այսինքն, հրաբխականությամբ հարուցված ոչ տեկտոնական խախտումներով պայմանավորված բնական վտանգները և ռիսկերն անհամեմատ փոքր են: Ուստի հրաբխային ակտիվությամբ հարուցված խզումը վերագրելով տեկտոնականին՝ գերազնահատվում է նրա մագնիտուդային ներուժը:

2. Եղվարդի սարավանդ

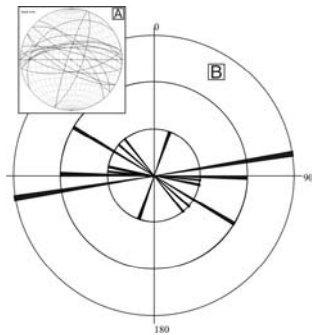
ՀՀ տարածքում հրաբխածին խախտումներ դիտարկվել են Արագածի լանջերին, Գեղամա, Վարդենիսի և Սյունիքի հրաբխային բարձրավանդակներում: Խախտումներ շատ են դիտարկվում նաև Արարատյան գոգավորությանը հարող սարավանդների հրաբուխներում (օր.՝ Գրեակո, Դավիթ բլուր, Կարմրատար, Թագավորանիստ և այլն):

Եղվարդի սարավանդի մակերեսին լավ առանձնանում են վեց խարամային, տեղ-տեղ լավաներով հրաբխային կոներ: Ամարյանը (1963) նրանց համարում է վերին Պլիոցենի, իսկ Ասլանյանը (1958) վերին Չոբրոքդականի գոյացություններ:

Համարյա այս բոլոր հրաբուխների մերկացումներում դիտարկվում են խախտումներ, որոնց հիման վրա ՀՀ Սեյսմիկ պաշտպանության ազգային ծառայության (ՍՊԱԾ) 2001 թվականի սեյսմատեկտոնական մոդելում առանձնացվել էր Եղվարդի գոտու ինտենսիվ ընդարձակման զոնան արևմուտք, հյուսիս-արևմուտք ուղղությամբ:

Ըստ Բալասանյանի (2001) դեկավարությամբ իրականացված աշխատանքների արդյունքների՝ վերը նշված խախտումները հրաբխատեկտոնական ծագում ունեն: Ավանեսյանը (2004), կասկածի տակ դնելով նրանց տեկտոնական բնույթը, նույնպես հակված է դրանց համարել հրաբխատեկտոնական: Խախտումները հրաբուխներում և լճագետային նստվածքներում դիտարկվում են կոների և նրանց շրջակայքի սահմաններում (Аванесян, 2004), ինչը ակնհայտորեն ցույց է տալիս նրանց ծագումնաբանական կապը հրաբխականության հետ:

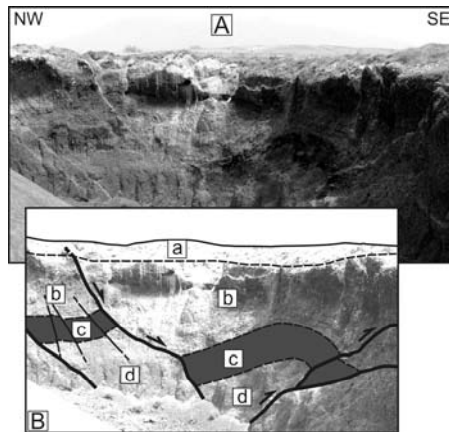
Կարևոր հանգամանք է նաև հրաբուխների տարածական բաշխումը: Խոշոր մասշտաբում այս հրաբուխները չունեն գծային տեղաբաշխում, սակայն նրանց զբաղեցրած էլիպսաձև մակերեսը ունի ընդհանուր հյուսիս-արևելյան մոտ 3կմ ձգվածություն և մոտ 1կմ լայնություն: Նույն հյուսիս-արևելյան ուղղությամբ մոտավորապես 7կմ դեպի հարավ-արևմուտք դիտարկվում են ևս երկու շլակային կոներ, որոնցից խոշորը 1կմ տրամագծով Օշականի հրաբուխն է: Հեռագնման և դաշտային հետազոտությունները երևան չհանեցին որևիցե մի երկրաբանական կառույց վերը նշված ձգվածության, որոնք կկապեին այս հրաբուխները: Ավելին, հրաբուխների սահմաններում դիտարկված խախտումներում դժվար է առանձնացնել գերազանցապես մեկ ուղղություն, իսկ լճագետային նստվածքներում ($N 40^{\circ} 18'01.69''$, $E 44^{\circ} 25'27.63''$) դիտարկված խախտումներում գերազանցող ուղղությունը մոտ է լայնակիին (նկար 1): Այս վերլուծությունից ևս երևում է խախտումների ոչ տեկտոնական բնույթը:



Նկար 1. Խախտումների հարթությունները (A) և նրանց տարածումների դիագրաման (B):

Ամենուր աշխարհում հրաբխականությանը ներհատուկ են ընդարձակման կառույցները, որոնք արտահայտվում են փոքր մասշտաբի ընդարձակման ճեղքերից սկսած մինչև խոշոր վարնետները և օղակաձև խզումները (rigid fault): Եղվարդի սարավանդի դիտարկված խախտումների ընդհանուր տրամաբանությունը այս առումով բացառություն չէ: Դիտարկվող խախտումները, մեծ մասամբ, փոքր ամպլիտուդներով, հիմնականում մեկ երկու սանտիմետր լայնությամբ (բացառիկ դեպքերում մինչև 10սմ) խզման հարթություններով վարնետներ են: Վերջինս վկայում է դրանց հիմնականում մեկ տեղաշարժի մասին: Հրաբխածին բնույթը հաստատող այլ կովաններից է դրանց տեսանելի մասշտաբում տեղաշարժի ըստ խորության նվազումը՝ դիտարկված Շամիրամի սարավանդի Կարմրատար հրաբուխի հյուսիսային մերկացումներից մեկում ($N 40^{\circ} 14'25''$, $E 44^{\circ} 08'36''$):

Շատ դեպքերում խախտումները դուրս են գալիս գետնի մակերես և երբ այնտեղ առկա են երիտասարդ գոյացություններ, ապա դա վկայում է երիտասարդ տարիքի մասին:



Նկար 2. Տարբեր չափերի վարնետների և վերնետների խումբ (A-լուսանկարը և B-վերձանումը): a- կարբոնատացված միավոր, b, c, d – խարամային տարբեր երանգավորմամբ միավորներ:

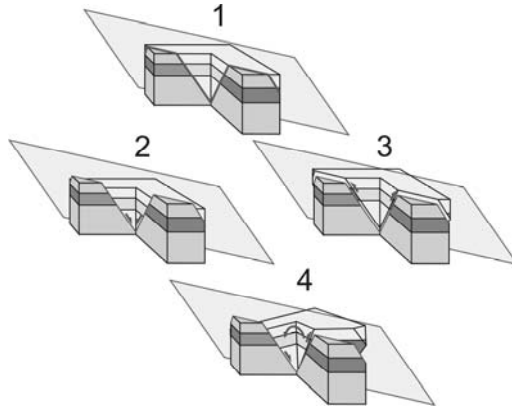
Կարբոնատացված շերտը կամ կեղևն անշուշտ, գոյացել է վերին Չորրորդականի (Ասլանյան, 1958) հրաբխային կոների ձևավորումից հետո: Բազմաթիվ մերկացումներում կարբոնատացված շերտերում դիտարկվեցին խախտումների հարթություններ, սակայն ուշադիր զննությունը ցույց տվեց, որ միանշանակ, ոչ մի օրինակում, վերջիններս խախտված չէին (մասնավորապես նրանց ստորին սահմանը): Արդեն խախտված մակերևույթը, նաև խզման հարթության հեշտ թափանցելի տիրույթը ենթարկվել են կարբոնատացման:

Մերկացումներում արձանագրվեցին շատ ավելի բարդ կառույցներ, որոնք առաջին հայացքից չեն տեղավորվում հրաբխածին խախտումներին առավել բնորոշ վարնետային ռեժիմ հասկացության մեջ:

Եղվարդի սարավանդի Կարմրաթումբ (1294.1 բարձրությամբ) հրաբխային կոնի մերկացումներից մեկում դիտարկվեց հստակ վերնետ (N310-330° տարածմամբ և ~50° հարավ-արևելյան անկմամբ): Այն ապացուցվում է նաև խզման հարթությանը հարող քարշման ծալքով (drag fold) (նկար 2), որը լավ երևում է սև գույնի c միավորի դեֆորմացիայով: Մակայն, ուղղանկյունաձև այդ մերկացման արևմուտքում, հաջողվեց դիտարկել վերնետի հարթության շարունակականություն, ուր վերնետի փոխարեն դիտարկվեց վարնետ:

Ֆենոմենը հասկանալու համար իրականացվեց համակարգչային մոդելավերում (նկար 3), որը թույլ տվեց դիտարկել հնարավոր տարբերակներ և ընտրել առավել հավանականը: Արդյունքում ստացվեց, որ խզման հարթությամբ հարավից սահմանափակվող բլուրը ենթարկվել է ժամսլաքի հակառակ ուղղությամբ ռոտացիայի,

ինչը շատ հավանական է հրաբխի նստեցման ժամանակ կամ նրա լանջերի սողանքների կողային խզումների պարագայում: Դրա մասին են վկայում նաև խզումների փոքր տարածումները և նրանցով սահմանափակված բլուկների համեմատաբար փոքր չափերը:

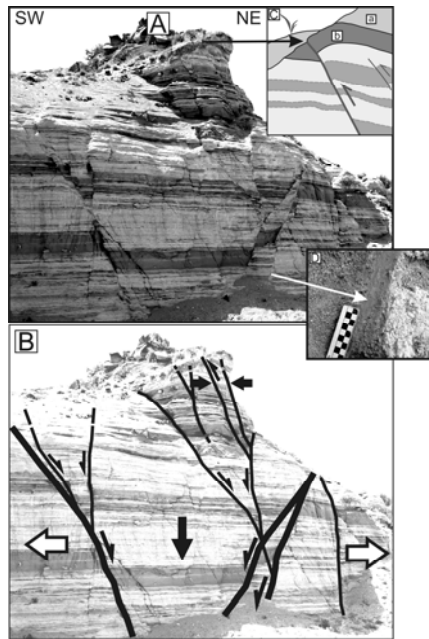


Նկար 3. Խզվածքավորման հնարավոր տարբերակների մոդելավորումը:

Հրաբուխների մերձակայքում վերնետ (N85° 70-78° N (C, նկար 4)) հայտնաբերվեց (Թագավորանիստ հրաբուխից մոտ 500մ դեպի հյուսիս-արևմուտք) անդեզիտային բազալտներով ծածկված ավազային և կավային, նաև գլաքարային լճագետային, հիմնականում հրաբխային ծագման, ստորին և միջին չորրորդականի լավային հոսքերի ամբարտակմամբ պայմանավորված (Ասլանյան, 1958) նստվածքներում (N 40° 18'01.69", E 44° 25'27.63"):

Այստեղ հիմնականում վարնետային ռեժիմի պայմաններում (դիտարկվում են բազմաթիվ վարնետներ առավելագույնը մոտ 3մ տեղաշարժով, խախտման հարթություններից մեկի վրա արձանագրվեց համարյա մաքուր վարնետի քերձվածքավորում՝ 80°SE (D, նկար 4)) դիտարկվող վերնետը տարօրինակ էր: Ուղղաձիգ տեղաշարժը մոտ 20սմ է (C, նկար 4): Այն դիտարկելով շրջակա կառուցվածքային առանձնահատկություններից դուրս, կարելի էր համարել տեկտոնական, սակայն, մանրագնին վերլուծությունը թույլ տվեց բացահայտել նրա կոմպենսացիոն բնույթը:

Վերնետը առաջացել է առավել խոշոր վարնետներով սահմանափակված (N80°, 62°N; 120°, 78°SW, 80°SE; N95°, 71°S) բլուկի իջեցմամբ, երբ իջնող նրա առավել լայն վերին հատվածի վրա ազդում են դեպի ներքև իրար մոտեցող, բլուկը սահմանափակող խախտումային սահմանները՝ առաջացնելով լոկալ հորիզոնական ուղղվածության սեղմման լարվածություն (B, նկար 4):



Նկար 4. Համեմատաբար խոշոր խախտումներով սահմանափակված գրաբների (A-լուսանկարը և B-վերձանումը), վերին հատվածում գոյացել է կոմպենսացիոն վերնետ (C): Մերկացումում դիտարկված խախտման հարթության քերծվածքավորումը ներկայացնում է գրեթե մաքուր վարնետային կինեմատիկա (D):

Այս տեղանքից մոտ մեկ կիլոմետր հյուսիս (հրաբխային կոներից ավելի հեռու) դիտարկվող նմանատիպ նստվածքներում խախտումներ չեն դիտարկվել:

Լճագետային նստվածքների բարձրությունը (մոտ 1350մ) շրջակայքում գտնվող հինգ հրաբուխները երեքից ավելի է, ինչը նույնպես պահանջում է բացատրություն: Կարելի է փորձել բացատրել մագմատիկ օջախի դեպի վեր ճնշմամբ կամ աղային դիապիրիզմով: Ավանեսյանը (2004) գտնում էր, որ այս խախտումները կապ չունեն տեկտոնական խզումների հետ: Ամբողջովին չբացատրելով ոչ ակտիվ խորքային որևիցե մի հրաբխատեկտոնական կամ տեկտոնական խզվածքի ազդեցությունը (որը այլ կերպ կբացատրեր նման բարձրադիրությունը), դիտարկվող խախտումների գոյացումն, ավելի հավանական է, կապված է հրաբխային ակտիվության հետ, այսինքն վերջիններս ունեն կամ հրաբխային կամ հրաբխատեկտոնական ծագում:

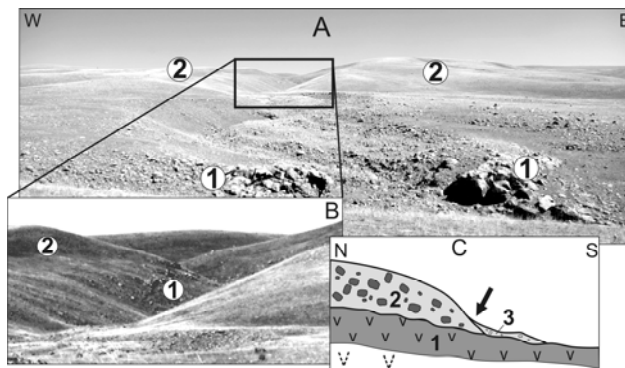
3. Արագած

Արագածի օղակաձև սկարպերի վրա առաջին անգամ ուշադրություն դարձրեցին Կ.Ն. Պաֆենհոլցը (1948) և Ս.Պ.Բալյանը (1969): Պաֆենհոլցը նշում էր Արագած հրաբուխը գոտևորող օղակաձև դայկաների մասին: Բալյանը սկարպերը, ծագումնաբանորեն կապելով հրաբխային կոնի զարգացման հետ, համարում էր էոզիոն տեղատարումային ծագման մեծ գրադիենտային լանջեր, որպես մինչ

սառցապատման տոպոգրաֆիայի մնացորդ: Դրանով էր նա բացատրում սկարպերի օղակաձևությունը և ընդարձակությունը (մինչև 2կմ): Սկարպերը գտնվում են մոտավորապես 9-14կմ հրաբուխի աշխարհագրական կենտրոնից հեռու: Որոշ տեղամասերում, մասնավորապես հյուսիսային լանջերում, Մ.Բայանը համարում էր խզումային:

Չ.Կոնորը սկարպերի գոյացումը պայմանավորում է օղակաձև կառույցներով (circular ring structure) կապված էոզիայով կամ վրաշարժերով՝ պայմանավորված հրաբխային բեռնավորման մեծացմամբ հրաբխի նստեցման հետ (Seismic Hazard Assessment for the Construction Site of a New Power Unit of the Armenian NPP, 2011):

Հրաբուխի հարավ-արևմտյան լանջերով ձգվում է այսպես կոչված Արագածի լինեամենտը, որն հյուսիս-արևմուտք հարավ-արևելք ձգվում է 20-30կմ, ունի 50-150մ բարձրություն և 1-3կմ լայնություն: Նրա բնույթն առանձնահատուկ կարևորվել էր հայկական ԱԷԿ-ի անվտանգության տեսանկյունից: Նրա հատվածներից մեկում (Իրինդ գյուղից 7կմ հյուսիս-արևելք) երկրաբանական կառուցվածքային հետազոտությունները ցույց տվեցին, որ սկարպը իրականում երկրաբանական տարբեր գոյացումների միջև մակերեսային սահմանն է (նկար 5): Ինչպես ցույց է տրված սխեմայում (C, նկար 5) լավային երիտասարդ հոսքի վրա նստած ճակատային մորենները ստեղծում են այդ մորֆոլոգիական սկարպը: Մորենային նստվածքներում պահպանվել են սառցադաշտային օվալաձև էկզոռացիայի ինչպես նաև քերծվածքավորման հետքերը:



Նկար 5. Արագածի լինեամենտի հատված: 1-երիտասարդ լավաներ, 2- սառցադաշտային նստվածքներ, 3-ջրասառցադաշտային և լանջային նստվածքներ: A, B-լուսանկարները, C-կտրվածքը):

Հետազոտությունների ընթացքում Արագածի շուրջը ենթադրվող խախտումների գոյությունը հաստատվեց Բազմաբերդի և Ծաղկահովիտի տեղամասերում: Նրանք հեռագնման արդյունքներով դիտարկվել էին Ա.Կարախանյանի կողմից:

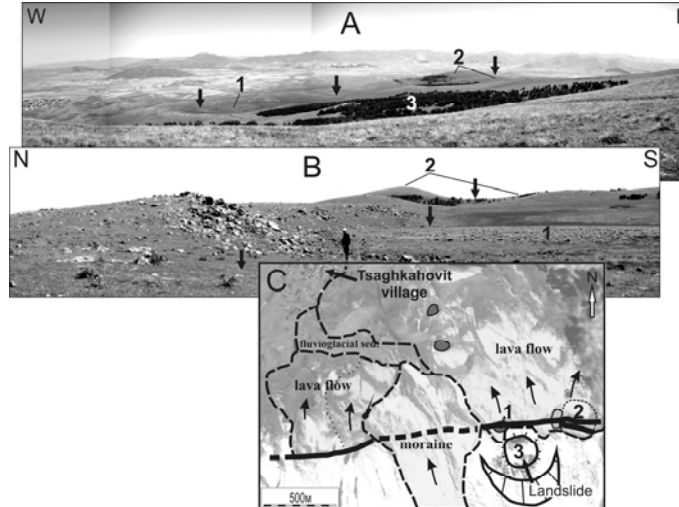
Առաջինը գտնվում է Արագածի լինեամենտից մոտ 4կմ հարավ-արևմուտք: Այստեղ է Բազմաբերդի հրաբուխի խարամային կոնը: Տեղանքը ենթարկված է ճեղքավորման, երբեմն դիտարկվում են փոքրիկ խզումներ սանտիմետրային տեղաշարժերով: Այն դժվար է

հայտնաբերել լավաների մեջ, սակայն լավ երևում է տուֆերի քարհանքում:

Կառուցվածքային դաշտային ուսումնասիրությունը ցույց տվեց, որ լավաներից (ստորին – միջին պլեյստոցենի (0.91-1.1 Ma) անդեզիտներով և տրախիանդեզիտներով (Geological map of Aragats and Ararat volcanoes, 2010)) ամենաերիտասարդները (մուգ մոխրագույն գույնի) ժայթքել են W-NW տարածման բացման ճեղքից: Ճեղքը հստակ դիտարկվում է մոտ 500մ տարածության վրա:

Երկու փոքր լավային կոները, որոնք չունեն խառնարան, տեղադրված են ճեղքից հյուսիս և նրանց միացնող գիծը զուգահեռ է ճեղքին՝ ցույց տալով հնարավոր ծագումնաբանական կապը:

Այս ճեղքավորումը, անշուշտ, կապված է դայկային ներդրման հետ: Վարնետը կամ ճեղքը զարգանում է դայկայի գագաթային մասի ընդարձակման գոնայի (ոչ անմիջական մոտակայքում) և մակերևույթի փոխազդեցությամբ (Rubin, 1992): Ապարներն ընդհանրապես սեղմման լարվածությանն ավելի լավ են դիմանում, քան ընդարձակմանը, որը հանգեցնում է ընդարձակման դեֆորմացիաների (stretching)՝ ճեղքավորման, բացման խզումների (open fault) կամ վարնետների: Սրանք տարածվելով հրաբուխների լանջերին՝ ձևավորում են օղակաձև խզումներ (ring-fault), որպես կանոն ունեն մեծ անկումներ (dip-slip faults) և որոնք կապված են դայկաների հետ (Gudmundsson and Nilsen, 2005):



Նկար 6. Ծաղկահովիտի տեղամասում բացման ճեղքը (ցույց է տրված սլաքներով) նկարված հարավ-արևմուտքից (A), արևմուտքից (B): C- տեղանքի երկրաբանական սխեմատիկ քարտեզը: 1- ճեղքի վրա տեղադրված լճակ, 2- հրաբխային կոն, 3- սողանքային մարմին: Ճեղքավորումը ցույց է տրված սև գծով: Լավային հոսքերը (lava flow), մորենային (moraine) և ջրասառցադաշտային (fluvioglacial) նստվածքները և Ծաղկահովիտ գյուղը (Tsaghkahovit village) ցույց են տրված (C):

Նմանօրինակ ճեղքային ժայթքման երկրաբանական իրադրություն դիտարկվեց Արագած հրաբուխի հյուսիս-արևելյան լանջին, Ծաղկահովիտի տեղամասում, ուր տարածված են ստորին – միջին Պլեյստոցենի հասակի անդեզիտադաշիտային լավաները (Geological map of Aragats and Ararat volcanoes, 2010): Դաշտային ուսումնասիրությունները ցույց տվեցին լայնակի ձգվածության ճեղքի (մոտ 2կմ) կամ խախտման առկայությունը, որից դեպի լանջն ի վար տարածված են երիտասարդ լավաները (նկար 6): Ճեղքվածքը բացակայում է մոբենային նստվածքներում և փաստորեն այն գոյացել է վերջին սառցապատումից առաջ: Մոբեններից արևելք սեզմենտի երկայնքով արտավիժած լավաները ձևավորել են երկարաձգված բլրաշարք, որը ամբարտակելով ջրային, հիմնականում մակերեսային հոսքը, առաջացրել է լճակ: Նրանից հարավ, լանջն ի վեր գոյացել է սողանք, որը հավանական է առաջացել է ժայթքումների հիմնական ցնցումներից: Ճեղքի վրա ձևավորվել են հրաբխային կոներ, ինչը, եթե վստահ չի զծագրվում նրա արևմտյան սահմանում, ապա հստակ է արևելքում:

Եզրակացություն

Երկրաբանական վտանգներից, հատկապես մեր տարածաշրջանում ամենակործանարար տեկտոնական երկրաշարժերից, պաշտպանվելու միջոցներից մեկը դրանք առաջացնող տեկտոնական խզվածքների ուսումնասիրությունն է: Երկրաշարժեր կարող են առաջանալ նաև հրաբխականության հետ կապված երկրաբանական գործընթացներից, որոնք, եթե ունեն տեկտոնիկայի հետ առնչություն, անվանվում են հրաբխատեկտոնածին, իսկ եթե կապված են զուտ հրաբխականության հետ՝ հրաբխածին: Տարբեր ծագման երկրաշարժերի և նրանց առաջացնող կառույցների իմացությունը կարևոր է, քանի որ նրանք ունեն տարբեր մագնիտոդային ներուժ և կրկնելիություն: Երկրաշարժերից՝ հզորներն ունեն հրաբխատեկտոնական, առավել հզորները՝ տեկտոնական ծագում, ուստի կարևոր է երկրաշարժածին կառույցների ճանաչելը:

Տեկտոնական երկրաշարժերը, պայմանավորված ակտիվ խզվածքներով, ունեն վստահ կրկնողականություն: Որոշակի միջերկրաշարժային ժամանակային տիրույթում կուտակվող լարվածությունները դիմադրողականության սահմանը գերազանցելիս, կակտիվացնեն կամ կառաջացնեն նոր խախտումներ և երկրաշարժեր: Սակայն հրաբխականությամբ պայմանավորված խախտումների գոյացումը կապված է հրաբխային ակտիվության կրկնելիության հետ: Մոնոգեն հրաբխականության դեպքում հրաբխածին խախտումը տեղի կունենա գերազանցապես նրա ակտիվության ժամանակ և այլևս չի կրկնվի:

Խզումների կինեմատիկաները և տարածման օրինաչափությունները ցույց են տալիս նրանց ծագման կապվածությունը հրաբխային

կառույցների շրջանաձևության և նրա կենտրոնի նկատմամբ տեղադիրքի հետ, հաճախ ցույց տալով տարբեր, երբեմն ռադիալ-համակենտրոն բաշխվածություն կապված հրաբխային կառույցի ձևավորման կամ փլուզման (collapse) հետ: Տեղանքի նախաժայթքման դեֆորմացիաները, մագմայի տեղաշարժման միկրոցնցումները և նրա ժայթքման հիմնական ցնցումները փոխազդելով ծանրահակ ուժի հետ հանգեցնում են դիտարկված ոչ տեկտոնական հրաբխածին դեֆորմացիաների: Սրանք, ըստ էության, սեյսմածին են (առաջացել են ցնցումներից), սակայն չեն հանդիսանում սեյսմածին կառույցներ (seismogenic structure), ինչպես օրինակ տեկտոնական խզումները:

Դիտարկված խախտումները հիմնականում փոքր տեղաշարժերով վարնետային են, սակայն դիտարկումները ցույց տվեցին վերնետների առաջացման հնարավորություն, որոնք առանց երկրաբանական կառուցվածքային ստուգաբանության կարող էին շփոթեցնել և վերագրվել տեկտոնական ծագման:

Արագածի լանջերին դիտարկված ճեղքավորումները, որոնք կարող են լինել նաև վարնետներ, որը դժվար է դիտարկել, կապված են դայկաների ներդրման հետ: Վարնետը կամ ճեղքը զարգանում է դայկայի գագաթային մասի ընդարձակման զոնայի և մակերևույթի փոխազդեցությամբ: Սրանք, տարածվելով հրաբուխների լանջերին, ձևավորում են օղակաձև խզումներ (ring-fault), որոնք, որպես կանոն, ունեն մեծ անկումներ (dip-slip faults): Դիտարկված ճեղքերի կամ խախտումների սահմանափակ երկարությունը և նրանց ակնհայտ կապը դայկաների ներդրման հետ նրանց դասում է հրաբխածինների շարքին:

Հոդվածագիրը իր շնորհակալությունն է հայտնում Ա.Կարախանյանին, Ռ. Միրիջանյանին, Խ. Մելիքսեթյանին Մ.Ավանեսյանին, Յու. Ղուկասյանին, Գ.Նավասարդյանին համատեղ քննարկումների համար:

Գրականություն

- Аванесян М.А.** О природе молодых разрывных нарушений Егвардского плато. ЕГУ, 1. 2004, Ереван, с.28-136.
- Амарян В.М.** Стратиграфическая схема неогеновых и четвертичных вулканических образований района г.Арагац. ДАН Арм.ССР XXXVI, N5, 1963, с.293-297.
- Асланян А.Т.** Региональная геология Армении. Айпетрат, Ереван, 1958, 427с.
- Бальян С.П.** Структурная геоморфология Армянского нагорья и окаймляющих областей. Изд. "Митк", Ереван, 1969, 380с.
- Джрбашян Р.Т., Карапетян С.Р., Мнацаканян А.Х.** Позднеколлизийный риолитовый вулканизм СВ части Армянского нагорья. Труды ГИН АН Грузии, нов.серия, вып. 117, Тбилиси, 2002, с.63-93.
- Милановский Е.Е.** Новейшая тектоника Кавказа. Изд. "Недра", Москва, 1968, 484с.
- Паффенгольц К.Н.** Геология Армении. Изд. Геол. литер. Мингео СССР, Москва, 1948, 895с.
- Abe K.,** Seismicity of the caldera-making eruption of Mount Katmai, Alaska in 1912. Bull. Seismol. Soc. Amer, 1992, 82, p.175-191.

- Avagyan, A., Sosson, M., Karakhanian, A., Philip, H., Rolland, Y., Melkonyan, R., and Davtyan, V. Recent / stress-field evolution in the Lesser Caucasus and adjacent regions , In " /Geol. Soc. of London, Special Volume. // "Sedimentary Basin Tectonics from the Black Sea and Caucasus to the Arabian Platform, /M. Sosson, N. Kaymakci, R. Stephenson, F. Bergerat, and V. Starostenko, eds. 2010, v. 340; p.393-408.
- Balassanian S., Avanesyan A., Arzumanyan V., Gevorgian E.** Seismic Hazard Re-evaluation in Armenian NPP Site, OECD-NEA Workshop Proceedings, EC JRC/ISPSA, Italy, 26-27 March 2001.
- Foulger G., Long L.** Anomalous focal mechanisms: Tensile crack formation on an accreting plate boundary. Nature, London, 1984, 310, p.43-45.
- Geological map of Aragats and Ararat volcanoes, 2010.** Institute of Geological Sciences, Armenian National Academy of Sciences. Authors: Meliksetian Kh., Jrbashyan R., Ghukasyan Yu., Navasardyan G. Data by Karakhanyan A., Avagyan A., Shirinyan K., Amaryan V., Kharazyan E., Balyan S., was also used. The map of Ararat volcano is after given en Y. Yilmaz et al., 1998.
- Gudmundsson A., Nilsen K.** Structure and formation of ring faults in composite volcanoes. American Geophysical Union, 2005, abstract #V23B-01
- Karakhanian A., Jrbashyan R., Trifonov V., Philip H., Arakelian S., Avagian A.** Holocene-historical volcanism and active faults as natural risk factors for Armenia and adjacent countries, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 113, 1-2, 2002, p.319-344.
- Karakhanian A., Jrbashyan R., Trifonov V., Philip H., Arakelian S., Avagian A., Baghdassaryan H., Davtian V., Ghoukassyan Yu.** Volcanic Hazards in the Region of the Armenian Nuclear Power Plant. Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2003, 126, p.31-62.
- Klein F., Koyanagi R., Nakata J., Tanigawa W.** The seismicity of Kilauea's magma system. In: Volcanism in Hawaii (R.W.Decker, T.L. Wright and P.H.Stauffer, eds.), U.S. Geol. Surv. Prof. Pap., 1987, 1350, p.1019-1185.
- McCalpin J.** Paleoseismology. Academic Press, New-York, 1996, 588p.
- Rubin A.** Dike-induced faulting and graben subsidence in volcanic rift zones. J. Geophys. Res. 1992, 97, p.1839-1885.
- Seismic Hazard Assessment for the Construction Site of a New Power Unit of the Armenian NPP.** Final Report., NorAtom" Consortium, 2011, Yerevan.
- Solonenko V.** Seismogenic deformations and the paleoseismogeological method. In Seismic Zonation of Eastern Siberia and Its Geological and Geophysical Basis, Nauka Publishing House, Novosibirsk.1977, p.5-47.

Գրախոսող՝ Յու. Ղուկասյան

РАЗРЫВЫ, СВЯЗАННЫЕ С ГРАВИТАЦИЕЙ И ВУЛКАНИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТЬЮ НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИИ АРМЕНИИ

А.В. Авагян

Р е з ю м е

В статье обсуждаются поверхностные разрывные нарушения, которые связаны с гравитационными и вулканическими процессами. Приводятся их примеры вулканического и вулканотектонического происхождения, наблюдаемые в вулканогенных, озерноречных осадках и в лавах. Нарушения в основном соответствуют сбросовому стресс режиму и показывают их генетическую связь с округлой формой вулканических аппаратов. Они

разнонаправленные и, часто, закономерно распределены относительно центра вулканических конусов.

В этой среде обнаружены также взбросовые нарушения. Структурно-геологический анализ и компьютерное моделирование показали их связь с формированием вулкана, с его обрушением и грабенообразованием. Деформации, предшествующие извержению, внедрение даек, микротрясения и основные землетрясения, связанные с движением магмы и её извержением, параллельно взаимодействуя с силой притяжения, приводят к этим деформациям вулканического происхождения.

RUPTURES RELATED WITH GRAVITATION AND VOLCANIC ACTIVITY ON EXAMPLES OF ARMENIA TERRITORY

A.V. Avagyan

A b s t r a c t

Superficial ruptures of gravitational origin as well as related to volcanic activity processes are discussed. Examples of volcanogenic and volcano tectonic origins are presented observed in volcanic and alluvial-lacustrine deposits and in lavas. Observed deformations in the majority of cases conform to the normal fault stress regime and show their genetic relation with round shape form of volcanic edifices. They are of different orientation and often consistently distributed with respect to the volcanic cone center.

In this medium reverse faults are also discovered. Structural analyses and computer modelling shows their association with volcano formation and collapse. The deformations preceding the eruption, introduction dikes, micro shaking and more important earthquakes related to the magma injection and eruption interacting with attraction force lead to these volcanogenic deformations.

ОБ АКТИВИЗАЦИИ СЛАБОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ АРМЕНИИ

© 2011 г. Э. Г. Геодакян, С. М. Оганесян

Институт геофизики и инженерной сейсмологии им. А. Назарова НАН РА

3115, г. Гюмри, ул. В. Саргсяна 5, Республика Армения

E-mail: geodakyan.e@mail.ru

Поступила в редакцию 24.08.2011

В статье изучается активизация слабой сейсмичности в центральной части Армении в период инструментальных наблюдений с 2006 по 2011 гг. Рассмотрена структура совокупности очагов слабых землетрясений в пятимерном пространстве (гипоцентр, время, энергия). На основе методов статистического анализа инструментальных данных выделена группа из 15 событий, последовательно взаимосвязанных в пространстве и во времени очагов землетрясений с магнитудами $M \geq 3.0$, имеющих направленность миграции оз.Севан-г.Арагат. Проведен сопоставительный анализ выделенной группы с аналогичными проявлениями сейсмического режима в других сейсмоактивных регионах, связанных как с изменениями напряженно-деформационного состояния очаговых зон в период подготовки более сильных землетрясений, так и с флуктуациями сейсмического режима.

Введение

Общеизвестно, что сейсмический процесс отображает сложные тектонические движения, возникающие в зонах взаимодействия иерархически различных по масштабности структурных элементов земной коры и литосферы.

Сейсмичность, как и геологическая среда, также проявляет характерные свойства иерархической системы в распределении землетрясений по пространству и энергии (Садовский и др., 1987). Основываясь на этих свойствах и в зависимости от целей сейсмологических исследований, рассматриваются три основные уровня сейсмических взаимосвязей в пятимерном пространстве: (пространственные координаты, время, энергия) глобальный, региональный и локальный.

Для сейсмически активной и опасной территории Армении крайне актуальны исследования ее сейсмичности на региональном и локальном уровнях. Пространственное распределение гипоцентров землетрясений по региону, определенное на долговременной основе, основные количественные параметры сейсмического режима (плотность эпицентров– N' , сейсмическая активность– A_{10} , сейсмическая дробность– γ) являются сейсмологической основой для оценки сейсмической опасности и ее картирования на различных масштабных уровнях и детальности.

На локальном уровне рассматриваются различные флуктуационные процессы в проявлении слабой сейсмичности в отдельных сейсмоактивных областях или геологических структурах. Показано, что они могут быть

обусловлены как изменениями постоянно действующих в них локальных полей напряжений, так и с формированием и реализацией очага крупного сейсмического события. В ходе многолетних детальных инструментальных наблюдений в сейсмоактивных районах, а также в эпицентральных зонах сильных землетрясений, были выявлены различные формы аномального проявления сейсмического режима: рой землетрясений, сейсмическое затишье, группирование очагов землетрясений, форшоки, афтершоки и т.д.. Повышенное внимание к изучению и анализу аномальных проявлений сейсмического режима связано с тем, что именно с ними связаны возможности выявления долгосрочных и среднесрочных сейсмологических предвестников сильных землетрясений.

В ходе детального обследования Зарского землетрясения 18 июня 2009г. на территории центральной части Армении были выявлены некоторые из вышеотмеченных форм аномального проявления сейсмического режима (Оганесян и др., 2009). Возникновение “роя” землетрясений в начале 2007 года на северо-востоке, в районе озера Севан, и последующая активизация слабой сейсмичности по всей территории центральной части Армении (в виде серии землетрясений магнитудой $M = 3,0 \div 4,0$) указывали на наличие в этом районе процесса интенсивного изменения и перераспределения локальных полей тектонических напряжений. При таких процессах слабые землетрясения имеют тенденцию к формированию группы взаимосвязанных в пространстве, во времени и по энергетическому уровню независимых сейсмических событий, при этом цепочки эпицентров группирующихся землетрясений трассируют активизированные участки геолого-тектонических структур или зон неоднородностей земной коры, а временная последовательность их возникновения указывает на направленность миграции процесса (Солоненко, Солоненко, 1987; Кузнецова, 1991). Особо отметим, что аномальные вспышки группирования слабых землетрясений наблюдались также перед рядом сильных землетрясений в различных сейсмоактивных регионах (Япония, Памир, Тянь-Шань, Кавказ) в непосредственной близости от очаговых зон этих землетрясений (Mizome et al., 1978; Прозоров, Ранцман, 1972; Геодакян, Багдасарян, 1987; Соболев, Васильев, 1991).

В настоящей работе, путем мониторинга сейсмичности территории центральной части Армении, на основе статистического анализа инструментальных данных стационарных сейсмических станций выявлены характер и структура наблюдаемой активизации слабой сейсмичности за период наблюдений с 2006-2011 гг.

Анализ исходных данных

Важным фактором для применения стохастических моделей сейсмичности и получения статистически значимых результатов анализа сейсмического режима является представительность и точность исходных данных – каталогов основных параметров землетрясений исследуемой территории.

При осуществлении мониторинга сейсмичности территории Армении и примыкающих к ней сейсмоактивных областей соседних стран, в нашем распоряжении имелись два каталога: электронный каталог землетрясений исследуемого района из базы данных Европейского Средиземноморского сейсмического центра (EMSC) и оперативный каталог землетрясений, происшедших на территории Армении и сопредельных стран, периодически размещаемых на сайтах Национальной службой сейсмической защиты РА. Оба каталога подверглись детальному сравнительному анализу на предмет представительности и точности определения содержащихся в них данных параметров очагов. Не вдаваясь в методические подробности учета различных факторов, влияющих на точность локализации очагов землетрясений (Оганесян и др., 2009), приведем ряд критериев, обосновывающих выбор каталога EMSC в качестве исходной базы данных:

- Каталог землетрясений EMSC составляется в реальном масштабе времени в международном формате представления параметров очагов землетрясений с определенными погрешностями по каждому параметру на основе большого количества данных сейсмических станций различных сейсмологических агентств.
- На оперативных сайтах MSPC РА Армении параметры локализации очагов землетрясений приводятся в усеченном формате без оценок погрешности. Ежегодные кондиционные каталоги землетрясений Армении публикуются, с отставанием на 6 лет, в сборнике “Землетрясения в Северной Евразии” (Сборник землетрясений Северной Евразии..., 2010).
- Погрешности определения географических координат гипоцентров землетрясений в обоих каталогах соизмеримы. В таблице 1 приводятся координаты эпицентров наиболее интересных для наших исследований землетрясений по этим двум системам инструментальных наблюдений.
- Как видно из таблицы 1, отклонение в определении координат эпицентров варьирует в пределах $0,02 \div 0,05^\circ$ ($3 \div 6$ км) и не может искажать реальную площадную картину аномального проявления слабых землетрясений.
- Энергетическая классификация землетрясений в каталогах EMSC существенно точнее и приводится по ряду региональных магнитудных шкал (ML; mb). В каталогах MSSP магнитуда землетрясения дается по оценочной магнитудной шкале Md.

Таблица 1

N	Дата	Время	Координаты			
			EMSC		NSSP	
			N ⁰	E ⁰	N ⁰	E ⁰
1	11.04.2007	7:43:15 PM	40.29	44.53		
2	18.04.2008	3:13:08 AM	40.02	44.74	40.07	44.8
3	04.11.2008	6:53:45 PM	40.10	44.43		
4	11.12.2008	9:25:34 PM	39.97	44.72		
5	10.02.2009	3:10:50 AM	39.70	44.36	39.87	44.30
6	09.04.2009	5:06:13 PM	39.85	44.15		
7	18.06.2009	7:34:55 AM	40.27	44.76	40.27	44.73
8	22.06.2009	12:06:09 AM	39.89	44.15		
9	17.01.2010	1:05:46 PM	40.27	44.54		
10	23.07.2010	12:49:43 AM	40.35	44.96	40.35	44.96
11	18.02.2011	8:00:22 AM	40.17	44.46	40.2	44.47

Выделение зон и периодов аномальных проявлений региональной сейсмичности

Для проведения мониторинга сейсмичности были определены пространственные границы района исследования, имеющие географические координаты $\varphi=39^{\circ}\div 41^{\circ}\text{N}$; $\lambda=42,0^{\circ}\div 47,0^{\circ}\text{E}$, которые охватывают всю территорию Армении, включая примыкающие к ней сейсмогенные зоны тектонических активных глубинных разломов. Включение этих зон в район исследований обеспечивает необходимость учета воздействия регионального сейсмического режима на изменение слабой сейсмичности исследуемой территории Армении. Выборка из каталога EMSC данных о происшедших за период с 2006 по 2011гг. землетрясениях с минимального магнитудного уровня $M\geq 2,5$ составила 458 событий. Предварительный анализ показал, что минимальный магнитудный уровень $M\geq 2,5$ обеспечивает однородность представительности землетрясений по всему исследуемому району. В ходе дальнейших количественных оценок и сравнительных анализов слабой сейсмичности, в ряде случаев, использовалась также энергетическая шкала классификации землетрясений $\lg E=K$ (Дж.).

Переход от безразмерностных магнитудных шкал к этой шкале осуществлялся по общеизвестной зависимости Гутенберга–Рихтера–Раутиан: $K=4+1,8 M$.

Пространственное распределение эпицентров землетрясений исследуемого района указывает на то, что за период с 2006–2011гг. сейсмическая активизация наблюдается в основном по зоне системы глубинных активных разломов с юго-запада на северо-запад, окаймляющей территорию Армении (рис.1).

В этой же зоне наблюдается группировка землетрясений в области очага Чалдыранского землетрясения 1976г., а также в районах Бингель и Ерзрум. От Ерзрума на северо-восток по Сарикамыш–Желтореченскому активному глубинному разлому к Памбак-Севанскому разлому сейсмическая активность спадает.

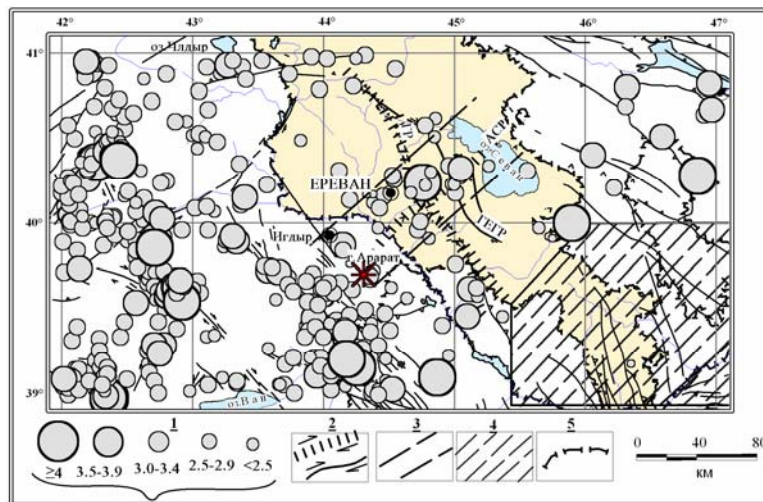


Рис. 1. Карта эпицентров землетрясений с $M \geq 2.5$ за период с 2006г. по 2011 г.:
1-магнитуда; 2-глубинные разломы - ГР-Гарнийский, ГЕГР-Гегамский (Караханян, 1994), АСР- Арарат-Севанский (Пирузян, 1969; Асланян и др., 1981); 3-границы области активизации; 4-зона затишья; 5-государственные границы.

Вызывает опасение практически полное отсутствие землетрясений в южной части Армении и прилегающих к ней районах. Непосредственно на территории Армении за рассматриваемый период наблюдений произошло около 75 землетрясений с магнитудного уровня $M \geq 2.5$. Преобладающее большинство эпицентров этих землетрясений приурочены к территории центральной части Армении от Паракар-Вединского активного разлома на северо-восток, к оз.Севан. По этому направлению ряд исследователей выделяют поперечный к основным геолого-тектоническим структурам Армении Арарат-Севанский глубинный разлом (АСР) (Пирузян, 1969; Асланян и др., 1981; Габриелян и др., 1982; Бабаджанян, 1988).

По геологическим признакам этот разлом прослеживается в районе с.Гарни (Габриелян и др., 1982; Бабаджанян, 1988). Юго-западный и северо-восточный участки этого разлома, покрытые соответственно осадочными отложениями Араратской котловины и лавовыми покровами Гегамского хребта, выделяются по гравиметрическим и магнитометрическим данным (Бабаджанян, 1988).

Наблюдаемая в этой зоне активизация сейсмичности хорошо коррелируется с областью, имеющей количественные значения долговременной

средней сейсмической активности $A_{10}=0,1$, приведенной в работе (Геодакян, Саргсян, 1987). По долговременной карте сейсмической активности A_{10} в указанной выше области со значениями $A_{10}=0,1$ выделяются две зоны более повышенных значений A_{10} .

Первая зона, примыкающая к г. Ереван с юго-запада и совпадающая с юго-западным участком АСР, имеет долговременные средние значения $A_{10}=0,2\div 0,5$. Вторая зона, расположенная на северо-восточном участке АСР, характеризуется значениями $A_{10}=0,2$. Количественный параметр сейсмической активности A_{10} , нормированный к единице времени (год) и единице площади (1000 км²), указывает на среднегодовое количество возникновения в данной точке землетрясений с энергетического уровня $K\geq 10$.

Этот параметр крайне удобен для применения сравнительного анализа наблюдаемой сейсмической активности с аналогичными среднегодовыми значениями, полученными по долговременному ряду наблюдений. Для выделения зон и периода аномального проявления слабой сейсмичности нами применялся, известный в теории флуктуации экспериментальных физических величин, метод выделения аномальных выбросов (Орлов, 2004). Рассматривается условие

$$|A_{10}^i - \overline{A_{10}}| \leq 2\sigma$$

где: A_{10}^i – наблюдаемое количество землетрясений с энергетического уровня $K\geq 10$, происшедших в данной площадке осреднения в течении данного года;

$\overline{A_{10}}$ – среднее долгосрочное значение сейсмической активности на той же площадке осредненное по карте (Геодакян, Саргсян, 1987);

σ – среднеквадратичное отклонение, равное $\sigma=0,02$.

Данное условие рассматривалось в каждой элементарной ячейке площади исследования скользящим по времени ($\Delta t = 1$ год) окном. При этом к критерию отнесения рассматриваемой территории и периода времени к аномальным проявлениям сейсмичности были установлены довольно высокие пороговые значения. Вероятность ε превышения максимального отклонения от пороговых значений $\delta_{1-\varepsilon}$ составляет $\varepsilon=0,05$

$$P(|A_{10}^i - \overline{A_{10}}| < \delta_{1-\varepsilon}) = 1 - \varepsilon$$

где $\delta_{1-\varepsilon}$ – квантиль, определяющий границу критической области отклонения.

Условие $|A_{10}^i - \overline{A_{10}}| > 2\sigma$ соответствует тому, что аномальные области и периоды времени выделяются с уровнем значимости – 95%.

В результате сравнительного анализа наблюдаемой сейсмичности со средними долговременными значениями количественного параметра сейсмической активности $\overline{A_{10}}$ на исследуемой территории выделены две зоны аномального проявления слабой сейсмичности. Первая зона расположена на центральной части территории Армении и характеризуется как зона повышенной сейсмической активизации, начиная с периода наблюдений

2007 по 2011гг. включительно. Площадь этой зоны составляет $S \approx 6500 \text{ км}^2$, имеет геометрическую форму, близкую к прямоугольной и оконтурена на рис.1 пунктирной линией. Вторая зона выделена на юге территории Армении, характеризуется полным отсутствием очагов землетрясений, свойственных явлениям “сейсмического затишья”. Площадь этой зоны составляет $S \approx 15000 \text{ км}^2$ и заштрихована на рис.1 пунктирными линиями. Наличие на относительно малой территории разнохарактерных форм проявления сейсмических процессов указывает на их генетическую взаимосвязанность, обусловленную происходящими в Кавказском регионе сложными, разнонаправленными и переменными во времени региональными сеймотектоническими деформационными процессами (Геодакян, Геодакян, 2004).

Многими сейсмологическими исследованиями выявлено, что при наличии вышеуказанных сеймотектонических процессов возникновение активизации слабой сейсмичности свойственно областям, сложенным более молодыми в геологическом отношении гетерогенными породами геологической среды. Противоположный процесс, т.е. полное отсутствие очагов слабых землетрясений – “сейсмическое затишье”, наблюдается в основном в областях, обладающих однородностью строения и консолидированностью пород геологической среды.

Внутренний механизм этих сейсмических процессов заключается в том, что при определенной ориентации мелких дислокаций в геологической среде относительно направленности главных осей сжимающих и растягивающих напряжений, любое их изменение приводит к “положительному” (активизация) или “отрицательному” (затишье) взаимодействию вновь образующихся разрывов. По приведенной в работе (Добровольский, 1991) карте направленности главных осей сеймотектонических деформаций и интенсивности их средних скоростей по региону Кавказа (фрагмент которой приводится на рис.2), выделенная зона активизации совпадает с направленностью главной оси растягивающих напряжений. Данных о направленности главных осей тектонических деформаций по области, выделенной как сейсмическое затишье, к сожалению, нет, в связи с отсутствием в этом районе очагов сильных землетрясений за последние 30 лет. Исходя из этого, в данной работе рассматриваются только характерные особенности наблюдаемой активизации слабой сейсмичности. Особое внимание при этом уделялось вопросу о наличии в этой совокупности сейсмических событий, последовательно группирующихся в пространстве и во времени.

Методические подходы и результаты анализа слабой сейсмичности

Применяемые в сейсмологической практике методические подходы и способы выделения из каталогов землетрясений группирующихся событий основаны на методах математической статистики (Прозоров, Ранцман, 1972; Соболев, Васильев, 1991). Из параметров, характеризующих процесс группирования, была сформирована матрица основных статистик, на основе которой производилась рандомизация каталога наблюдений.

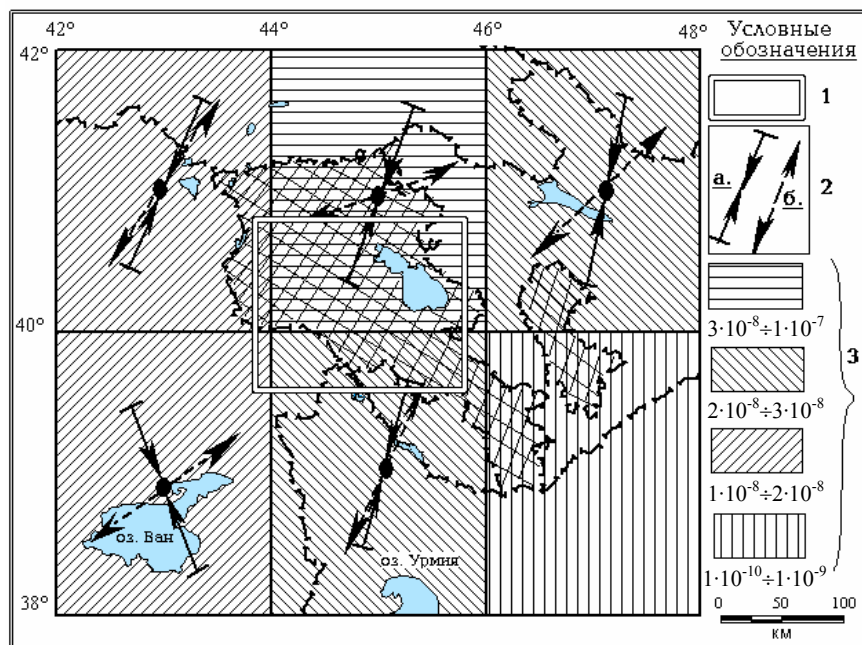


Рис.2. Фрагмент из карты интенсивности средней скорости сейсμοдеформации:
1-район исследования, 2-направления главных осей деформаций, проецированные
на земную поверхность - а-сжатия, б-растяжения; 3-величины средних
относительных деформации $\dot{\epsilon}$ (1/год)

В эту матрицу были включены следующие статистики:

- магнитудный диапазон группирующихся землетрясений ($M_{\max} \pm \Delta M$);
- расположение эпицентра землетрясения в области активизации - $K_i(\varphi_i, \lambda_i) \in S_{\text{акт}}$;
- векторное отображение межэпицентрального расстояния двух, последовательно происшедших во времени землетрясений - $\vec{d}_{ep}$
- период времени между двумя последовательно происшедшими землетрясениями - $t_{tr} = (t_{i+1} - t_i)$.

Подробно методика статистического анализа слабой сейсмичности изложена в работе (Геодакян, 2011). При положительном результате выборки исходное и рассматриваемое землетрясение включались в файл рандомизированного каталога, при этом рассматриваемое землетрясение принималось за новое исходное для последующих во времени землетрясений. При отрицательном результате исходное землетрясение пропускалось, последующее за ней по времени землетрясение принималось за новое исходное землетрясение, и процедура повторялась. Формирование группы взаимосвязанных землетрясений считалось состоявшимся при наличии в группе не менее 4 событий (число статистик).

За исходное землетрясение был взят “рой” землетрясений, происшедших 12 и 13 января 2007г. на северо-востоке центральной части Армении. Составляющие этот “рой” 6 землетрясений, с магнитудным диапазоном $M=2,5-3,6$, рассматривались как одно землетрясение с кумулятивной магнитудой $M_{\text{кум.}}=4,2$. Рассматривалась совокупность, состоящая из 25 землетрясений, происходящих в выделенной аномальной зоне.

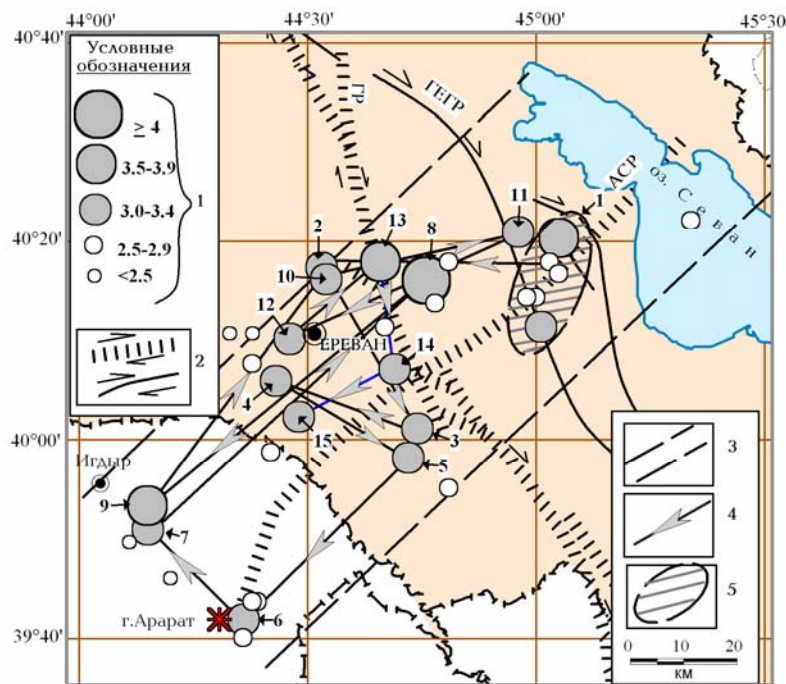


Рис.3. Пространственно-временная последовательность возникновения сейсмических событий за период с 2007г. по 2011г.: 1, 2, 3-по рис.1; 4-направленность и межэпицентральное расстояние последовательных во времени землетрясений, границы области активизации, 5-область роя землетрясений.

В результате статистического анализа по вышеописанной схеме выделена группа из 12 землетрясений, включенных в рандомизированный каталог последовательно взаимосвязанных землетрясений. Пространственное распределение эпицентров этих землетрясений и направленность векторов межэпицентральных расстояний (рис.3) указывает на наличие в этом районе значимых сейсμοдеформационных процессов, имеющих направленность миграции, совпадающей с направленностью Арарат-Севанского глубинного разлома.

С сейсмотектонических позиций возникновение группирующихся слабых землетрясений в области глубинных разломов идентифицируется как отображение криповых тектонических подвижек по разлому. Однако, не

включаясь в дискуссию о существовании или отсутствии Арарат-Севанского глубинного разлома, необходимо отметить ряд характерных особенностей проявления группирующихся очагов слабых землетрясений в этом районе, а именно:

- неглубокое залегание деформационных процессов (очаги группирующих землетрясений расположены на глубинах подошвы осадочного чехла и кровли кристаллического фундамента);
- изменение направленности миграции в противоположную от первоначального направления;
- приуроченность очагов группирующихся землетрясений к отдельным участкам Гаварского, Гегамского, Гарнийского, Паракар-Вединского и Игдирского глубинных разломов приводят к заключению, что эта зона представляет собой тектонически раздробленную локальными разрывами, нарушениями область, геологическая среда которой обладает повышенными свойствами гетерогенности пород.

Наличие эффекта группирования и возникший рой землетрясений являются классическими сейсмологическими критериями гетерогенности среды. Учитывая расположение в более глубоком сейсмоактивном слое земной коры этой области очага разрушительного Гарнийского землетрясения 1679г., вероятность того, что наблюдаемая линейная группируемость (80 км) взаимосвязанных очагов землетрясений может быть началом процесса подготовки более крупного магистрального разрыва, тем более, что по территории Армении такие процессы были выявлены и ранее.

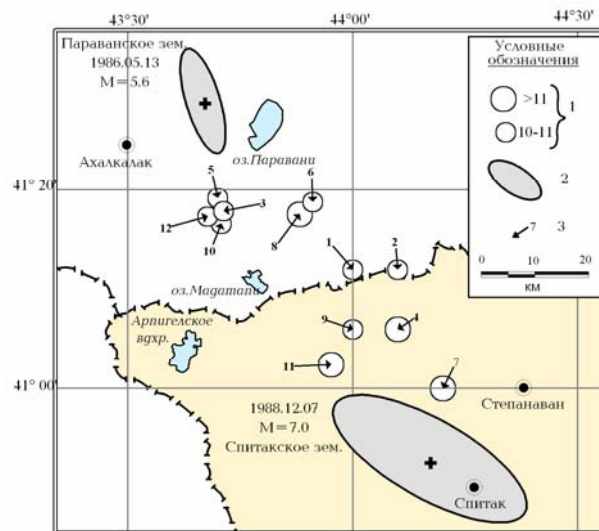


Рис.4. Пространственно-временная последовательность возникновения сейсмических событий в группе $M=3.0\div4.0$, происшедших на Джавахетском нагорье за период с 1980г. по 1982г.; 1-энергетический класс, 2-эпицентральный область разрушительного землетрясения, 3-номера группируемых землетрясений.

Локальные неоднородности (трещины) являются активными элементами, где формируются сейсмо-деформационные процессы. При этом скорости этих деформаций соизмеримы со скоростями релаксации локальных тектонических напряжений, что способствует быстрой разрядке тектонических напряжений в виде активизации слабой сейсмичности.

Однако приведенная интерпретация результатов статистического анализа наблюдаемой активизации слабой сейсмичности центральной части территории Армении, к сожалению, не является единственной. Как уже отмечалось в работе (Геодакян, Багдасарян, 1987) за период с 1980 по 1982 гг. на сейсмическом поле Северной Армении была выделена группа взаимосвязанных землетрясений, имеющих линейную направленность от г. Ахалкалаки к с. Бавра Ашотского района Армении (рис. 4). В дальнейшем, на краях структуры этой слабой сейсмичности произошли Парванийское землетрясение 13 мая 1986 г. и разрушительное Спитакское землетрясение 1988 года.

На основе ретроспективного анализа слабой сейсмичности Кавказа в работе (Соболев, Васильев, 1991) также выявлено группирование слабых землетрясений перед этими сильнейшими событиями. Проведенный в настоящей работе анализ сейсмичности территории центральной части Армении указывает, что процесс активизации слабой сейсмичности продолжается. Более того, последние три 13-15 сейсмические события на рис. 3 имеют триггерный характер проявления, свойственный процессам подготовки сильных землетрясений. В ходе научного доклада на годовом собрании отделения химии и наук о Земле НАН РА, с последующей публикацией результатов проведенных исследований (Геодакян, 2011), а также в письме руководства ИГИС НАН РА от 18 октября на имя президента НАН РА Р. М. Мартиросяна и академика-секретаря отделения химии и наук о Земле Л. А. Тавадяна предлагалось, учитывая стратегическую важность территории центральной части Армении как с социально-экономической, так и сейсмической точек зрения, считать крайне целесообразным организовать комплексный геофизический мониторинг этой территории. Основной задачей мониторинга считается комплексное слежение в реальном масштабе времени за ходом изменения геофизических полей в этом районе и получение новой научной информации о процессах, предвещающих сильные землетрясения.

Произошедшее 23 октября 2011 г. разрушительное землетрясение в районе г. Ван (Турция) с магнитудой $M=7.1$, является важным подтверждением приведенных в работе результатов и не снимает актуальности проведения комплексного геофизического мониторинга территории центральной части Армении.

Общеизвестно, что сильнейшие землетрясения, снимающие значительную часть накопленных в земной коре тектонических напряжений, приводят также к значительным перестройкам и перераспределению региональных полей, т.е. сейсмотектонических деформаций, способст-

вующих формированию новых или активизации залеченных старых очагов зон сильных землетрясений.

ЛИТЕРАТУРА

- Асланян А.Т., Ананян Э.В., Агамалян К.А., Караханян А.С., Микаелян А.С.** Карты разломов Центральной части Армянской ССР. Масштаб 1:200000. Научно-технический отчет по проблеме "Прогноз землетрясений". ИГН АН Арм. ССР, г. Ереван, 1981г., 63с. (Фонды ИГИС).
- Бабаджанян А.Г.** Глубинное строение и геодинамика бассейна озера Севан по геофизическим данным. Изд. АН Арм. ССР, 1988г., 136 с.
- Габриелян А.А., Саркисян О.А., Харазян Э.Х., Симонян Г.П.** Сейсмогеология района Арагатского сейсмопрогностического полигона. Научно-технич.отчет. ЕГУ, Ереван, 1982г., 143с. (Фонды ИГИС).
- Геодакян Э.Г., Багдасарян Ю.Р.** Выявление сейсмических затиший перед серий землетрясений на Джавахетском нагорье. Сб. "Поиск геофизических предвестников землетрясений на Кавказе". Труды института геофизики АН Груз.ССР, т. 54, Изд. "Мецниереба", 1987 г., Тбилиси, с. 69-78.
- Геодакян Э.Г., Саргсян Г.В.** Исследование долгосрочных параметров сейсмического режима территории Армянской ССР. Сейсмологический бюллетень Кавказа. 1981г., Изд. АН Груз.ССР, "Мецниереба". Тбилиси, 1987г., 114-120 с.
- Геодакян Э.Г., Геодакян Н.Э.** Оценка сейсмических деформаций в районе Южной Армении и северо-западе Ирана. Сб. научных трудов конференции, посвященной 60-летию НАН РА. Изд-во "Гитутюн", г.Гюмри, 2004г., с. 79-88.
- Геодакян Э. Г.** Методические подходы и результаты статистического анализа структуры слабой сейсмичности центральной части Армении. Сб. научных трудов конференции, посвященной 50-летию ИГИС НАН РА. Изд. "Гитутюн", г.Гюмри, 2011г., с. 60-77.
- Дж.Гудвин.** Исследование в психологии: Методы и планирование. Санкт-Петербург. 2004 г., с.146.
- Добровольский И.П.** Теория подготовки тектонического землетрясения. Изд-во "Наука", Москва, 1991г., 224 стр.
- Землетрясения Северной Евразии 2004г. ГС РАН. Обнинск, 2010 г., 445 с.
- Кузнецова К.Н.** Сейсмичность, как отражение процесса деформирования горных масс. Изв. АН СССР, Физика Земли, 1991 г., № 9, с. 47-57.
- Оганесян С.М., Геодакян Э.Г., Григорян В.Г., Карапетян Дж.К., Мкртчян Г.А., Мкртчян М.А.** Анализ макросейсмических и инструментальных данных землетрясения 18 июня 2009г. в центральной части территории Армении. Изв. НАН РА, Науки о Земле, 2009г., т. 62, №3, с.15-23.
- Орлов А.И.** Прикладная статистика. М., Изд. "Экзамен", 2004г., 69 с.
- Пирузян С.А.** Опыт детального сейсмического районирования территории Большого Ереванского района. 1969г., Ереван, "Айастан", 97 с.
- Прозоров А.Г., Ранцман Е.Я.** Статистика землетрясений и морфоструктура Востока Средней Азии. ДАН СССР, 1972г., т. 207, № 2, с. 341-344.
- Садовский М.А., Болховитиков Л.Г., Писаренко В.Ф.** Деформирование геофизической среды и сейсмический процесс. Изд. Наука, Москва, 1987г., 100 с.
- Соболев Г.А., Васильев В.Ю.** Особенности группирования эпицентров слабых толчков перед сильным землетрясением Кавказа. Изв. АН СССР, Физика Земли, 1991г., том. № 4. Изд. "Наука", М., с. 24-36.
- Солоненко Н.В., Солоненко А.В.** Афтершоковые последовательности и рои землетрясений в Байкальской рифтовой зоне. Изд. Наука, 1987, Новосибирск, 23 с.
- Mizome M., Nakamura M., Ishiketa J., Seto N.** Earthquake Prediction from Microcazhquake Observateion in the Vicinity of Wakayma Sity, Northwestern Part of the Kii Peninsula, central Japan. J. Phus.Eartnq., 1978, v. 26, № 4, p. 397-408.

Рецензенты А. Аракелян, Р. Дургарян

**ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԿԵՆՏՐՈՆԱԿԱՆ ՄԱՍԻ ԹՈՅԼ
ՄԵՑՄՍԻԿՈՒԹՅԱՆ ԱԿՏԻՎԱՑՄԱՆ ՄԱՍԻՆ**

Է.Գ. Գյոդակյան, Ս.Մ. Հովհաննիսյան

Ամփոփում

Ուսումնասիրված է Կենտրոնական Հայաստանի, 2006-ից 2011 թվականների գործիքային դիտարկումների ժամանակաշրջանում, թույլ սեյսմիկության ակտիվացումը: Դիտարկված է թույլ երկրաշարժերի օջախների ամբողջության կառուցվածքը հինգչափանի տարածությունում (հիպոկենտրոն, ժամանակ, էներգիա):

Գործիքային տվյալների վիճակագրական վերլուծության մեթոդների հիման վրա 15 իրադարձություններից առանձնացված է տարածության մեջ և ժամանակի ընթացքում հետևողականորեն փոխկապակցված, $M \geq 3.0$ մագնիտուդով երկրաշարժերի օջախների խումբ, որն ունի միգրացիա Սևան - Արարատ լեռ ուղղվածությամբ:

Կատարված է տարբեր սեյսմակտիվ շրջաններում սեյսմիկ ռեժիմի անոմալ արտահայտմամբ դիտարկված խմբավորման համադրելի վերլուծություն ինչպես առավել ուժեղ երկրաշարժերի նախապատրաստման ժամանակաշրջանում օջախային գոտիների լարվածադեֆորմացիոն վիճակի փոփոխություններով, այնպես էլ սեյսմիկ ռեժիմի ֆլուկտուացիաներով:

**ON ACTIVATION OF LOW SEISMICITY IN THE CENTRAL PART OF
ARMENIA**

E. G. Geodakyan, S. M. Hovhannisyan

Abstract

The activation of low seismicity in the period of instrumental observations from 2006 till 2011 is studied in the central part of Armenia. The totality structure in the pentameasured atmosphere is considered (hypocenter, time, energy).

On the base of methods of statistic instrumental data analysis the group consisting of 15 events sequantly interconnected in space and time earthquake focuses with $M \geq 3.0$ is distinguished having migration direction lake Sevan and the Ararat mountain.

A comparative analysis of the observed grouping is carried out with analogical manifestation of seismic regime in other seismic active regions linked with fluctuations as well as changes in the strained condition of focus zones in the period of preparation for stronger earthquakes.

ОЦЕНКИ НЕКОТОРЫХ ВАЖНЫХ ПАРАМЕТРОВ СРЕДЫ НА ОСНОВЕ ОГИБАЮЩИХ КОДЫ ЧИСС «СТЕПАНАВАН»

© 2011г. А. А. Саакян, С. Н. Назаретян, Г. В. Саргсян

«Северная служба сейсмической защиты», МЧС РА

E-mail: snaznssp@mail.ru,

Поступила в редакцию 18.07.2011 г.

Впервые на Кавказе, используя ЧИСС коды «Степанаван», выделены три ветви огибающих, отвечающие за формирование коды в коре, в литосфере и в мантии, для которых оценены добротность, коэффициенты поглощения, рассеяния и мутности и выявлена их зависимость от частоты. Показано, что в затухании сейсмических волн основную роль играет поглощение и что коэффициенты поглощения, рассеяния и мутности в земной коре в несколько раз превосходят их значения в мантии. Показано также, что в антикавказском направлении добротность меньше, а поглощение сейсмических волн больше, чем в кавказском. Полученные данные дают новые представления о строении земной коры и верхней мантии региона.

Для решения ряда сейсмологических задач за последние десятилетия много внимания уделялось исследованиям сейсмической коды. Особенно важны результаты, полученные при использовании коды для изучения таких характеристик коры и верхней мантии, какими являются затухание, поглощение и рассеяние, а последние, в свою очередь, характеризуются добротностью и мутностью среды. Процессы рассеяния и поглощения колебаний в среде зависят от частоты, поэтому важно отдельно регистрировать разные частотные составляющие колебаний, при этом длительность анализируемых сейсмограмм и частотный диапазон желательно иметь как можно большими.

При изучении сейсмической коды наиболее эффективно использование регистрации землетрясений частотно-избирательной аппаратурой – сейсмической станцией (ЧИСС). Это обусловлено тем, что сейсмический сигнал на станции ЧИСС пропускается через набор полосовых фильтров, имеющих узкую полосу пропускания и большую крутизну среза частотной характеристики (Запольский, 1971; Современные методы..., 2006), что позволяет для разных землетрясений с разной магнитудой, от разных эпицентральных зон и расстояний использовать волны одного частотного диапазона. Если кода исследуется на каналах общего типа (СКМ-З, СКД), то при переходе с одной частоты на другую может меняться природа коды, что влияет на волновую картину. Поэтому применение ЧИСС-коды позволяет избежать и таких ошибок. Для выполнения этой работы исследования проводились по записям частотно-избирательной аппаратурой – ЧИСС, единственной на территории Кавказа и установленной на сейсмической станции «Степанаван» в 1985 г. Аппаратура ЧИСС «Степанаван» имела восемь полосовых фильтров с центральными частотами 0,3; 0,6; 1,25;

2,5; 5,0; 10,0; 18,0; 27,0Гц. Относительная ширина полосы пропускания для первых шести частот равна 0,48Гц, а у последних двух высокочастотных каналов составляет 0,22Гц. Были использованы, в общих чертах, записи более 200 землетрясений, эпицентральные расстояния которых варьировали в пределах от 15 до 700км, а магнитуда – от 2 до 5,5. Глубины залегания – до 20км.

Для характеристики коды применена огибающая линия. Построение огибающих проводится в двойном логарифмическом масштабе, причем одной логарифмической единице на оси времени (ось абсцисс) соответствует вдвое больший отрезок, чем логарифмической единице на оси амплитуд (ось ординат). За начало отсчета берется время в очаге землетрясения. Эти данные, а также координаты гипоцентров землетрясений, взяты из бюллетеней Кавказа, а недостающие данные взяты из бюллетеня сейсмической станции «Степанаван», полученные по каналам СКМ-3 и СКД.

Прежде чем перейти к интерпретации огибающих коды, рассмотрим некоторые их свойства и природу образования. Сейсмической кодой называется хвостовая часть записи землетрясения, где регулярные волны практически полностью отсутствуют. Не вдаваясь в подробности, отметим лишь то, что большинство исследователей рассматривают коду, как результат рассеяния сейсмических колебаний при их распространении в среде со случайными неоднородностями, то есть в мутной среде. При этом кода образована однократно и многократно отраженными поперечными волнами от субгоризонтальных границ в коре и в мантии. Как показано в работе (Нерсесов, Копничев, 1976; Копничев, Соколова, 2008), кода-волны имеют очень сложную структуру. Так, на низких частотах ($f < 0,5$ Гц) они формируются, главным образом, поверхностными волнами, а на более высоких частотах – объемными. Кроме того, объемные волны представляют собой совокупность хаотически поляризованных рассеянных волн и линейно-поляризованных отраженных поперечных волн. Суть интерпретации свойств коды состоит в том, что экспериментальные огибающие сравниваются с теоретическими, и, в итоге, по лучшей сходимости выбирается модель среды. В отличие от работы Ю.Ф.Копничева (Копничев, 1977), где рассмотрены огибающие рассеянных волн, начиная прямо от вступления прямой волны, мы, как и в работе Т.Г.Раутиан (Раутиан и др., 1981), ограничимся моделями только собственно коды на участке асимптоты.

Как показано в работе (Саакян, 2008), при изучении коды взрывов их наклон и форма отличаются от тех же характеристик землетрясений, что позволило автору сделать вывод о различном затухании землетрясений и взрывов. Это обстоятельство позволило нам изучить коды землетрясений из разных эпицентральных зон. Учитывая период работы станции ЧИСС в Степанаване (1985-1991гг.) и статистическую представительность землетрясений, нами было выбрано два направления эпицентральных зон: ЮВ-СЗ и ЮЗ. В первую зону входят землетрясения Ирана (ЮВ направление) и Джавахетского нагорья - СЗ направление (44 землетрясения). Во вторую

зону входят землетрясения Спитакской зоны и Армянского нагорья (СВ Анатолии) (162 землетрясений). Поэтому огибающие землетрясений построены по этим двум направлениям: ЮВ—СЗ и ЮЗ (Рис. 1). На этих огибающих выделяются три сегмента: **b**, **c** и **d**. Сегмент **b** прослеживается для частот 0,3-2,5Гц в интервале времени 10-200сек. и характеризует земную кору в целом. Сегмент **c** прослеживается на всех частотах, причем с ростом частоты интервал времени сужается; так, при частоте 0,3Гц – в интервале времени от 120–800 сек., а для 27Гц - до 10-80сек. Сегмент **c** исследователи связывают с литосферой и астеносферой. Сегмент **d** тоже прослежен для всех частот, и, аналогично сегменту **c**, интервал времени с ростом частоты тоже сужается. Так, при частоте 0,3Гц – интервал времени от 800-3000сек. уменьшается до 30-100сек. для 27Гц. Сегмент **d** характеризует мантию.

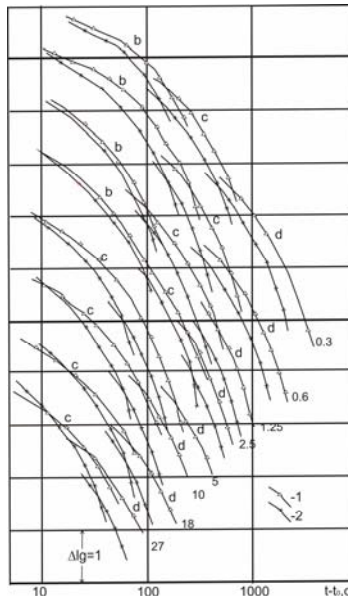


Рис.1. Сводные огибающие ЧИСС “Степанаван”: 1-огибающие для ЮВ-СЗ направления.
2- огибающие для ЮЗ направления.

Как видно из рис.1, эти кривые различаются разной крутизной, то есть они имеют разное затухание, которое, видимо, обусловлено различием поглощающих и рассеивающих свойств на пути от очаговой зоны до сейсмической станции. Более крутой наклон огибающих кривых в ЮЗ направлении указывает на более сильное поглощение и рассеяние в коре и в мантии по сравнению с ЮВ-СЗ направлением. Т.е. в антикавказском направлении эти характеристики увеличиваются. Интересно отметить, что ранее было отмечено запаздывание сейсмических продольных волн в антикавказском направлении (Саакян, 1984). Это означает, что вследствие большого поглощения в этом направлении скорость **P** волн уменьшается. Как показано в работе (Раутиан и др., 1981), все модели приводят к одно-

типным уравнениям зависимости амплитуд от частоты и времени, различающимися лишь величиной геометрического показателя (ν), который не выходит за пределы 0,5-1,0.

Основными параметрами среды, которые получаются из огибающих коды, являются добротность, поглощение, рассеяние и мутность. Следует отметить важную специфику коды, как источника сведений о добротности. По форме огибающих коды при различных значениях показателя расхождения, определены значения эффективной добротности среды при помощи номограммы Раутиан. Как показали сравнения экспериментальных кривых с теоретическими кривыми для вычисления добротности, лучшая сходимость получилась для ветви **b** при геометрическом расхождении $\nu=0.5$, для ветви **c** - при частотах (0,3-10)Гц – $\nu=0.75$, а для частот от (10-27)Гц - при $\nu=1.0$. Для ветви **d** добротность вычисляли при $\nu=1,0$ (табл.1).

Таблица 1

Оценки добротности **Q** для ветвей **b, c, d** в зависимости от частоты колебаний.

Q	Ветвь коды	Зона земл.	Частота (Гц)							
			0,3	0.6	1.25	2.5	5.0	10.0	18.0	27.0
Добротность	b	ЮВ-СЗ	57	105	98	148	-	-	-	-
		ЮЗ	42	65	83	110	-	-	-	-
	c	ЮВ-СЗ	162	247	340	550	470	900	1130	1350
		ЮЗ	124	140	230	390	270	600	810	990
	d	ЮВ-СЗ	620	680	780	1150	1400	1780	2250	2700
		ЮЗ	360	580	630	740	760	1000	1250	1360

Как видно из таблицы, добротность имеет минимальное значение для ветви **b** на частоте 0,3Гц ($Q=42$) для ЮЗ направления, максимальное значение приходится на ветвь **d** на 27Гц ($Q=2700$) ЮВ-СЗ зон, причем для всех частот и ветвей для ЮЗ зоны добротность меньше, чем для ЮВ-СЗ зон. Если для частот 0,3-2,5Гц разница в значениях для обеих зон невелика, то для частот 10-27Гц для ЮВ-СЗ направления среда почти два раза добротнее, чем на ЮЗ направлении.

Для наглядности построен график зависимости добротности от частоты (рис.2). Как видно из этого графика, добротность возрастает с увеличением частоты, причем если для ветви **d** она увеличивается монотонно, то для ветвей **b** и **c** имеем по одному минимуму на частотах 1,25Гц и 2,5Гц соответственно. На ветви **b** понижение добротности связано с наличием слоя повышенного поглощения в земной коре на ЮВ-СЗ направлении, а на ветви **c** этот минимум, вероятно, связан с астеносферой, характеризующейся высоким поглощением. Несмотря на наличие минимума на ветви **c**, добротность увеличивается несколько сильнее, чем для ветви **d**. На всех частотах и для всех ветвей на ЮВ-СЗ, то есть в кавказском направлении, среда более добротна, чем на ЮЗ направлении. Для одной и той же частоты добротность возрастает по мере перехода от ранних к поздним участкам огибающих. Это происходит в результате того, что при

большем временном интервале на записи доминирует кода, формирующаяся в более добротных и в более глубоких частях Земли.

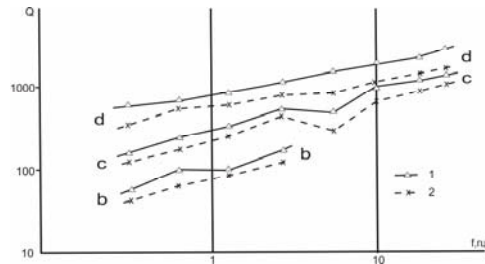


Рис 2. Зависимость добротности, Q от частоты для ветвей **b, c, d**: 1-для ЮВ-СЗ направления, 2-для ЮЗ направления.

Добротность для ветви **d** устойчиво возрастает, и эта зависимость хорошо описывается выражением $Q_d=800f^{0.37}$ для ЮВ-СЗ зоны и $Q_d=550f^{0.28}$ для ЮЗ зоны. Для ветви **c** это выражение имеет следующий вид: $Q_c=325f^{0.43}$ для ЮВ-СЗ зоны и $Q_c=200f^{0.48}$ для ЮЗ зоны, а для ветви **b**: $Q_b=100f^{0.43}$ для ЮВ-СЗ зоны и $Q_b=75f^{0.41}$ для ЮЗ зоны. Как видно из показателей аппроксимирующих выражений, добротность для ветвей **b** и **c** растет с частотой сильнее, чем для ветви **d**. Таким образом, можно констатировать, что $Q \sim f$.

Сравнения добротности, полученные по ЧИСС станциям, показали, что для ветви **b** значения добротности для станции «Степанаван» чуть выше, но в основном почти одинаковы с аналогичными данными станций «Гарм» и «Талгар» Средней Азии, а для ветвей **c** и **d** добротность более чем в два раза меньше данных этих станций, что констатирует факт о больших поглощающих свойствах среды нашего региона. Может быть поэтому значения магнитуд по длительности записи объемных волн на записях сейсмической станции «Степанаван» занижена по сравнению с магнитудами **P**, **S** и **L** волн. Продолжая сравнение данных сейсмической станции «Степанаван» с другими, можно отметить, что значения добротности ЧИСС «Шикотан» более близки с данными станции «Степанаван», так как оба региона характеризуются молодым вулканизмом и имеют близкие по значению тепловые потоки. Эффект увеличения добротности с частотой колебаний, по-видимому, можно объяснить ростом коэффициента рассеяния с частотой, что приводит к относительному уменьшению наклона на высших частотах.

Начальная часть коды формируется однократно рассеянными волнами, а по мере увеличения времени на сейсмограмме начинает расти влияние двукратных и трехкратных волн, причем для каждой из них мы предполагаем изотропность рассеяния. Для оценки коэффициентов поглощения и рассеяния в коре и в мантии мы исходили из вышеизложенных предположений.

Коэффициенты поглощения для разных частот рассчитаны с помощью формулы:

$$\alpha_n = 2\pi f / V_s Q \text{ (Копничев, 1982),}$$

где f - частота, V_s - скорость поперечной волны, средняя величина которой нами принята 3,5 км/с, Q - добротность для данной ветви и частоты.

Способ оценки коэффициента рассеяния основан на явлении более слабого затухания кратных рассеянных волн со временем по сравнению с однократно рассеянными. При изотропном рассеянии на временах $t_{b,c}$ и $t_{c,d}$ мощность однократных волн становится равной мощности суммы двукратных и трехкратных волн. На временах $t \geq t_{b,c}$ или $t_{c,d}$ наблюдается уменьшение наклона огибающих коды, связанное с переходом к кратным волнам. Время перегибов соответствует изменению кратности рассеянных волн. Коэффициенты изотропного рассеяния (α_p) можно оценить из огибающих коды с помощью формулы:

$$\alpha_p = \frac{2(\sqrt{\pi^2 + 16} - \pi)}{\pi v_s t_{1,2}}$$

Коэффициенты поглощения и рассеяния по этим формулам приведены в табл. 2 и 3.

Таблица 2

Значения оценок коэффициентов поглощения α_n (10^{-3} км^{-1}) в зависимости от частоты

α_n (10^{-3} км^{-1})	Ветвь коды	Зона земл.	Частота (Гц)							
			0,3	0,6	1,25	2,5	5,0	10	18,0	27
	b	ЮВ-СЗ	9.4	11	24	30	-	-	-	-
		ЮЗ	14	18	28	41	-	-	-	-
	c	ЮВ-СЗ	3.6	4.7	6.9	8.5	20	21	28.5	36
		ЮЗ	4.7	8.3	10.5	12	35	36	40.3	49
	d	ЮВ-СЗ	0.9	1.7	3.0	4.1	6.7	11	14	18
		ЮЗ	1.6	2.0	4.4	6.3	13	19	26	3

Таблица 3

Значения оценок коэффициентов рассеяния α_p (10^{-3} км^{-1}) в зависимости от частоты по перегибам коды

α_p (10^{-3} км^{-1})	Перегиб коды	Зона земл.	Частота (Гц)							
			0,3	0,6	1,3	2,5	5,0	10	18	27
	По b, c	ЮВ-СЗ	1.4	2.1	3.4	3.8				
		ЮЗ	2.2	2.9	3.5	4.2				
	По c, d	ЮВ-СЗ	0.5	0.6	0.7	0.8	1.9	3.7	5.1	10.8
		ЮЗ	0.8	1.0	1.1	1.4	5.5	6.4	6.9	11.4

Для одних и тех же частот в земной коре коэффициенты поглощения и рассеяния в 2-3 раза больше, чем для верхней мантии. Для ЮЗ направления поглощение и рассеяние больше, чем для ЮВ-СЗ зон, причем для высоких частот их разница уменьшается. Это говорит о том, что чем глубже проникает волна, тем среда становится более однородной.

С ростом частоты коэффициент рассеяния увеличивается, но во всем диапазоне частот остается намного меньше коэффициента поглощения. Это говорит о том, что в затухании сейсмических волн основополагающую роль играет поглощение, тогда как в Средней Азии наоборот – кроме частоты 1,25 Гц рассеяние с ростом частоты растет значительно сильнее, чем поглощение.

Коэффициенты поглощения и рассеяния в коре примерно в три-четыре раза больше, чем в верхней мантии, и шесть-семь раз выше, чем в нижней мантии. Однако столь малые значения α_n и α_r для этих частот в нижней мантии все же оказываются вполне достаточными, чтобы на сравнительно больших временах в коде произошел переход к кратным рассеянным волнам.

На каждой огибающей этот переход соответствует перегибу, сопровождающемуся уменьшением наклона, и такие перегибы очень четко выражены на огибающих для ЮВ-СЗ и ЮЗ районов (рис.1). Эти перегибы не могут быть связаны с увеличением добротности среды в нижней мантии, поскольку в этом случае они появились бы практически одновременно на разных частотах (Копничев, 1982). При сравнительно малых временах в коде доминируют поперечные волны, а далее, особенно на высоких частотах, увеличивается доля продольных волн, которые поглощаются слабее поперечных волн. В работе (Aki, Chouet, 1975) высказана гипотеза, что в литосфере сейсмоактивных районов главную роль в затухании высокочастотных сейсмических волн играет рассеяние. Полученные нами результаты свидетельствуют обратное: то есть на всех частотах для обоих направлений в затухании преобладает поглощение. Высокое поглощение Кавказского региона в целом отмечают и другие исследователи (Аракелян и др.1986; Джибладзе и др.,1971), однако у них отсутствуют данные о рассеянии.

Для оценки коэффициента мутности (g), определяющего интенсивность рассеяния, использовалась методика, описанная в работе (Aki, Chouet, 1975). Коэффициенты мутности были рассчитаны для общей сводной огибающей коды без разделения на эпицентральные зоны. Результаты оценок коэффициента мутности в слоях, ответственных за формирование коды, приведены в табл. 4.

Таблица 4

Коэффициенты мутности $g(10^{-3} \text{ км}^{-1})$ общей сводной огибающей.

$g(10^{-3} \text{ км}^{-1})$	Ветвь коды	Частота (Гц)							
		0,3	0,6	1,25	2,5	5,0	10,0	18,0	27,0
	b	13.8	41.7	67.6	457	-	-	-	-
	c	2.76	4.82	11.5	20.9	36.3	60.3	89.1	21.9
	d	0.12	0.22	0.47	0.92	1.9	4.6	8.7	15.8

Как видно, мутность заметно возрастает с частотой, причем для одной и той же частоты – чем глубже, тем прозрачнее становится среда. Кроме того, они меняются по-разному для разных ветвей коды (рис.3). Наблюдаемая зависимость мутности от частоты для ветви **b** описывается выражением $g = 95f^{1.71}$, для ветви **c** – $g = 8,4f^{0.99}$, а для ветви **d** – $g = 0,4 f^{1.1}$.

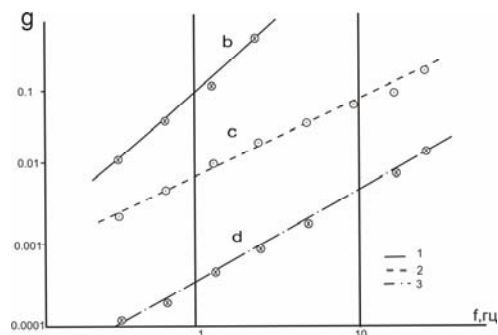


Рис.3. Зависимость коэффициента мутности от частоты для ветвей коды ветвей **b, c, d**: 1, 2, 3 – аппроксимирующие линии для ветвей **b, c, d** соответственно.

Наблюдаемая частотная зависимость $g(f)$ определяется несколькими факторами: отношением размеров рассеивателей и длин волн, частоты повторяемости размеров рассеивателей в каждом слое и несовпадением объемов среды, в которой формируется кода разных частот.

Надо отметить, что использованный нами способ дает довольно грубую оценку мутности. Однако свойства среды в этих слоях различаются настолько сильно, что погрешности используемого расчетного способа намного меньше, чем действительные различия мутности в этих слоях. Поэтому мы воздержимся от попыток определять по этим данным размеры рассеивателей. Учитывая это и имея в виду приближенный характер оценок мутности, мы полагаем, что выводы о структуре рассеивателей были бы малообоснованными. Это явилось основной причиной, что оценки мутности мы проводили не для отдельных зон, а для общей сводной огибающей коды.

ЛИТЕРАТУРА

- Аракелян А.Р., Копничев Ю.Ф., Нерсесов И.Л.** Картирование верхней мантии Альпийского пояса Евразии по поглощению короткопериодных поперечных волн. Изв. АН Арм. ССР, Науки о Земле, 1986, т.39, с. 52-59.
- Запольский К.К.** Частотно-избирательные станции ЧИСС. В кн. Экспериментальная сейсмология. М. Наука, 1971, с. 20-41.
- Джибладзе Э.А., Дарахвелидзе Г.Х., Табуцадзе Ц.А.** Затухание сейсмических волн Кавказа. Изв. АН СССР, Физика Земли, 1971, 1, с. 93-95.
- Копничев Ю.Ф.** Поглощение и рассеяние сейсмических волн в земной коре Гармского района. ДАН СССР, 1980, т. 255, 2, с. 305-309.
- Копничев Ю.Ф.** Определение коэффициентов поглощения и рассеяния путем совместного анализа регулярных волн и коды. Изв. АН СССР, Физика Земли, 1982, 1, с.48- 62.
- Копничев Ю. Ф., Соколова И. Н.** Характеристики сейсмичности и поля поглощения S-волн в районе очага Суматринского землетрясения 26 декабря 2004 г. ДАН РФ. 2008. т. 422, 5, с. 672-676.
- Нерсесов И.Л., Копничев Ю.Ф.** К вопросу о природе кода волн. ДАН СССР, 1991. 229, 6, с.1341-1344.
- Раутиан Т.Г., Халтурин В.И., Закиров М.С. и др.** Экспериментальные исследования сейсмической коды. М. Наука, 1981, 142с.
- Саакян А.А.** Кинематические особенности продольных сейсмических волн для землетрясений Армянского нагорья. Автореф.канд. диссерт. Ереван, 1984, 16с.
- Саакян А.А.** Методика распознавания промышленных взрывов по записям сейсмической станции "Степанаван". Изв. НАН РА, Науки о Земле, 2008, т. 51, 3, с.53-56.
- Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных.** Материалы Международной сейсмологической школы. Обнинск: ГС РАН, 2006. 162с.
- Aki K., Chouet B.** Origin of coda waves: source, attenuation and scattering effects. J.Geophys. Res., 1975, v.80, 23, p. 3322-3342.

Рецензент А.Р. Аракелян

ՄԻՋԱՎԱՅՐԻ ՈՐՈՇ ԿԱՐԵՎՈՐ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄ ԸՍՏ “ՍՏԵՓԱՆԱՎԱՆ” ԸՆՍԿ ՇՐՋԱՆՑՄԱՆ ԿՈՂԱՆԵՐԻ

Ա.Ա.Սահակյան, Ա.Հ.Նազարեթյան, Գ.Վ.Սարգսյան

Ամփոփում

“Ստեփանավան” ընտրովի հաճախային սեյսմիկ կայանի կողմից ներքին մեջ առանձնացվել են երեք ճյուղեր, որոնք ձևավորվում են երկրակեղևում, քարոլորտում և Երկրի թիկնոցում: Այդ ճյուղերի համար գնահատվել են բարորակությունը, կլանման, ցրման, պոտորության գործակիցները և բացահայտվել է նրանց կախվածությունը հաճախականությունից: Ցույց է տրված, որ սեյսմիկ ալիքների մարման գործընթացում հիմնարար դերը պատկանում է կլանմանը, որ կլանման, ցրման և պոտորության գործակիցներն երկրակեղևում մի քանի անգամ գերազանցում են Երկրի թիկնոցում ունեցած արժեքների: Ցույց է տրված, որ հակակովկասյան ուղղությամբ բարորակությունն ավելի փոքր է, իսկ կլանումն ավելի մեծ համեմատ կովկասյան ուղղության:

**ESTIMATIONS OF SOME IMPORTANT ENVIRONMENTAL PARAMETERS
ON THE BASIS OF CODA ENVELOPES AT... «STEPANAVAN» FSSS**

A.A. Sahakyan, S.N. Nazaretyan, G.V. Sargsyan

Abstract

For the first time in Caucasus, using earthquake coda of «Stepanavan» frequency-selective seismic station (FSSS) recordings three branches of coda envelop are chosen, which are being formed in the Earth's crust, in the lithosphere and in the mantle. For which are estimated good quality factor, the coefficients of absorption, dispersion and turbidity and their dependence on frequency is revealed. It is shown, that in attenuation of seismic waves the basic role is played by absorption, and that factors of absorption, dispersion and turbidity in the Earth crust several times surpass their values in a mantle. It is shown also, that in the Anti-Caucasian direction good quality factor is less, and absorption of seismic waves is more than in the Caucasian direction. The obtained data give new important representations about a structure of the Earth crust and the upper mantle of region.

АНАЛИЗ ВАРИАЦИЙ ВНЕШНИХ ИСТОЧНИКОВ В СОПОСТАВЛЕНИИ С ДАННЫМИ МАГНИТНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ПО ТЕРРИТОРИИ АРМЕНИИ

© 2011г. А.О. Симонян, М.В. Оганян, А.С. Хачатрян

*Институт геофизики и инженерной сейсмологии им. А.Г. Назарова НАН РА,
Армения 3115, Гюмри, В.Саргсяна 5
E-mail: as_iges@freenet.am
Поступила в редакцию 16.05.2011 г.*

В работе анализируются амплитудно-частотные характеристики магнитных полей внешних источников, выступающих в роли помех при определении вариаций источников внутриземной природы на территории Армении. С целью выделения локальных аномалий вариаций, вызванных неоднородностями структуры и состава верхних слоев Земли и динамических процессов, протекающих в них, определяется региональный фон внешних вариаций и индуцированной ими составляющей путем анализа временных серий индексов солнечной и геомагнитной активностей.

По аномалиям временных вариаций разных частот, вызванных внутренними и внешними – естественными и искусственными, источниками, оценивается электропроводность внутренних слоев Земли. Однако, если магнитотеллурический метод зондирования требует знание параметров индуцирующего электрического поля (одновременное измерение горизонтальной составляющей вариаций электрического и магнитного полей), то в методе глубинного электромагнитного зондирования Земли достаточны данные только по магнитному полю (вертикальная - Z , и горизонтальная - H , компоненты). Соответственно, во втором методе применяются поля, порождаемые внутренней и внешней природой естественных источников, характерное время которых колеблется от нескольких часов до нескольких десятков лет.

Но в данных наблюдений, проводимых в разных регионах мира, часто регистрируются локального характера аномалии временных вариаций геомагнитного поля, которые имеют внутриземное происхождение, но по продолжительности проявления соответствуют частотному диапазону, характерному для вариаций внешних источников. Продолжительность этих аномалий может составить от нескольких часов до нескольких лет. В них отражаются динамические процессы, связанные с тектонической активностью региона, которая вызывает изменение напряженно-деформированного состояния литосферы Земли (Оганесян и др., 1986; Оганесян и др., 1988; Kuvshinov & Olsen, 2006; Hulot et al., 2007; Hulot et al., 2009). Их называют аномалиями тектономагнитной природы, а соответствующую им часть поля – тектономагнитным. Механизмом возникновения этих аномалий являются магнитоупругий эффект – изменение напряжения магнитного поля из-за изменения поля упругих

напряжений, и/или электрокинетический эффект – изменение электропроводности за счет динамики флюидов в земной коре при изменении ее напряженно-деформированного состояния в процессе подготовки тектонических землетрясений (Оганесян, 1990; Григорян, 2007).

Таким образом, решение методами магнитометрии задач научно-прикладного характера, связанных с изучением состава и структуры литосферы Земли, а также ее динамики, обусловленной процессами, охватывающими толщи Земли вплоть до нижних слоев мантии (Грушинский, Сажина, 1988), сводится, в первую очередь, к разделению вариаций внутренних и внешних источников, характерные размеры и характерные времена которых часто перекрываются. На пути решения этой проблемы в данной работе изучается поле вариаций внешних источников для выделения аномальных вариаций, зарегистрированных магнитометрическими станциями, действующими на территории Армении.

Характеристика источников внешних вариаций. Источником внешних вариаций на средних (наших) широтах являются магнитосферный кольцевой ток, протекающий в области низких и средних широт в западном направлении на границе магнитосферы, простирающейся до расстояний 4-5 радиусов Земли, а также токовые системы, протекающие на высоте около 110 км в освещенной Солнцем стороне E -слое ионосферы. Кольцевой ток образуется в результате взаимодействия солнечного ветра, представляющего собой поток исходящего из Солнца корпускулярного излучения, с дипольным полем Земли. Часть ионизированных частиц солнечного ветра проникает в нижние слои атмосферы со стороны авроральных областей (высокие геомагнитные широты), образуя вокруг Земли ионосферу. В ней из-за возникающего при нагреве Солнцем градиента температуры и давления образуются потоки, текущие в ночную сторону. Под воздействием силы Лоренца они превращаются в систему электрических токов, текущих обратно часовой стрелки в южном и северном полушариях, соответственно (Kuvshinov et al., 2007). Таким образом, контролируемые дипольным полем планеты эти токовые системы вместе с кольцевым током отражают интенсивность солнечного излучения, вызывая годовые или сезонные, суточные и более быстротечные геомагнитные вариации. Вариации этих двух видов внешних источников отличаются по своим пространственным характеристикам, однако близки по временной. В результате, данные магнитных наблюдений, проводимых на поверхности Земли и в околоземном пространстве, представляют сложную суперпозицию полей разных источников, в которой искажаются вариации, генерированные источниками “чисто” внутриземной природы. Но вариации указанных источников ортогональны, что позволяет разделить их с помощью применения адекватных методов математической обработки данных. Определенная часть внутренних вариаций локальных масштабов, однако, носит индукционный характер, являясь как бы вторичным эффектом от вариаций внешних источников и, соответственно, находится в корреляции с последними. Глубина источников этих вариаций соот-

ветствует толщине скин-слоя, определенного для волн с широким спектром частот (свойственным внешним вариациям), и поэтому они несут ценную информацию об электропроводности глубинных слоев Земли. Следовательно, знание амплитудно-частотных характеристик этих вариаций важно не только при решении задач, связанных с выделением полей чисто внутренних источников, но и в задачах идентификации геологических и тектонических структур, которые могут проявляться в сериях данных магнитных наблюдений как зоны аномальной электромагнитной индукции.

Анализ данных. Известно, что амплитудно-частотный состав внешних и, в частности, солнечно-суточных или S_T вариаций (общее название для S_q - solar quiet day и S_d - solar disturbed day вариаций) и их гармоник наиболее точно определяется временными сериями компонентных данных магнитовариационных станций, действующих непосредственно в регионе исследований. По данным H -составляющей геомагнитного поля определяются k -индексы, характеризующие уровень общей геомагнитной активности. По этим индексам проводится селекция магнитных данных наблюдений при решении задач, связанных с идентификацией внутренних источников геомагнитных вариаций, к которым относится, в частности, задача обнаружения аномалий тектономагнитной природы. Следует также иметь в виду, что такая селекция данных сводит к минимуму, но не к обнулению вклада магнитных полей за счет индукции, которые существуют даже в ночное время магнитоспокойных дней (Olsen et al., 2005a).

Из-за отсутствия в Армении обсерваторских данных наблюдений геомагнитных элементов при изучении амплитудно-частотных и фазовых характеристик внешних вариаций приходится пользоваться временными сериями индексов глобальной солнечной и геомагнитной активностей, несмотря на возможность появления погрешностей в проводимых численных оценках. Глобальные k_p -индексы, определенные по данным 13 среднеширотных обсерваторий мировой сети, недостаточно точно определяют степень геомагнитной возмущенности при локальных измерениях, и, к тому же, приводятся в относительных единицах, что делает их непригодными при количественном анализе данных геомагнитных наблюдений, проводимых на территории нашей республики. При этом, тесно связанные с ними эквивалентные амплитуды или α_p -индексы геомагнитной активности приводятся в нанотеслах (nT и nT на русском и на английском языках соответственно) и поэтому являются более удобными для количественного анализа данных магнитных наблюдений. Но если эти индексы предоставляются для периода, начиная лишь с 1932 г., то aa -индексы рассчитаны и для более ранних эпох – начиная с 1868 г. (http://spidr.ngdc.noaa.gov/spidr/friend.do?hlink=ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/GEOMAGNETIC_DATA/). Совместный анализ временных серий α_p и aa индексов позволил убедиться, что среднесуточные значения aa , превышая соответствующие значения A_p (принятое обозначение для среднесуточных значений α_p) примерно в 1.5 раза, в точности повторяют временные вариации, представ-

ленные серией последних. Поэтому решив, что для данной работы значения aa не содержат дополнительной полезной информации, они не были использованы для анализа внешних вариаций, отраженных в сериях геомагнитных наблюдений, и не приводятся в графиках, представленных в работе.

Однако все перечисленные индексы геомагнитной активности основаны на k_p и, как и сами k_p -индексы, имеют лишь трехчасовое временное разрешение, что ограничивает возможность достаточно точного описания с их помощью временных характеристик внешних вариаций, протекающих в течение земных суток. Поэтому при их сопоставлении с данными наблюдений магнитных станций α_f в основном были использованы в виде серии их среднесуточных значений (A_p), пригодных для определения амплитудных и фазовых характеристик годовых или сезонных вариаций внешних источников. В то же время индексы D_{st} - Storm-Time Disturbances, определяющие вариации, вызванные магнитосферным кольцевым током (тоже по данным наблюдений H -составляющей), предоставляются серией среднечасовых значений. Более того, они разбиваются на E_{st} (External) и I_{st} (Induced) составляющие, определяющие вариации чисто внешнего происхождения и индуцированной ими части, которая отражается в данных наземных наблюдений геомагнитного поля. Ввиду их большей разрешаемой способности во времени и того, что они позволяют определять индуцированную часть вариаций на основе $1D$ модели (глубинной) электропроводности Земли, эти индексы геомагнитной активности показали более представительными при качественном и количественном анализе серий данных магнитных станций, действующих на территории Армении.

Для определения интенсивности солнечно-связанных вариаций, кроме перечисленных индексов геомагнитной активности, широко используются также индексы, непосредственно определяющие солнечную активность и ее воздействие на ионосферу нашей планеты. Из них индекс, называемый международным количеством солнечных пятен, или числами Вольфа, представляет обобщенные по всем возможным наблюдениям на земной поверхности суточные значения количества пятен на солнечном диске, а $F10.7$ представляют интенсивность ионизирующей солнечной радиоэмиссии на длине волны 10.7 см и определяются на основе ежедневных моделей ионосферы, построенных по данным GPS-наблюдений.

На рис. 1 временная серия среднесуточных значений A_p индексов геомагнитной активности сравнивается с сериями чисел Вольфа и индексов $F10.7$ для периода с 1 октября 2007 г. по 30 ноября 2008 г., который оказался наиболее полно покрытым геомагнитными данными станций, действующих на территории республики. Пунктирные линии соответствуют линейной аппроксимации серий данных, сплошные – аппроксимируют серии полиномами четвертой степени. Из рисунка видно, что, как и следовало ожидать, корреляция между сериями, представляющими солнечную активность, практически идеальная, если учитывать специфи-

ческие особенности данных: дискретно-прерывистый характер визуальных данных по числам Вольфа и непрерывно-гладкий характер расчетно-инструментальных данных по индексам, характеризующим ионосферную возмущенность. Однако корреляция между этими сериями и серией A_p индексов оставляет желать лучшего. На кривой серии A_p индексов наиболее резкими пиками выделяется 27-дневный цикл активности, связанный с периодом вращения Солнца вокруг своей оси, на фоне которой даже резкие изменения активности Солнца (количества солнечных пятен) наблюдаются менее четко. Более того, по амплитуде пики на кривой, представляющей геомагнитную активность, не всегда пропорциональны пикам, соответствующим максимальным значениям солнечной активности. Например, пик в значениях A_p , зарегистрированный в марте 2008 г., по резкости соответствует аналогичным пикам в сериях $F10.7$ и чисел Вольфа. Но при этом практически той же амплитуды пик A_p - значений в октябре, на сериях индексов солнечной активности не выделяется адекватным образом. И наоборот, резко выделяющийся на них пик в декабре мало-помалу выделяется на серии A_p .

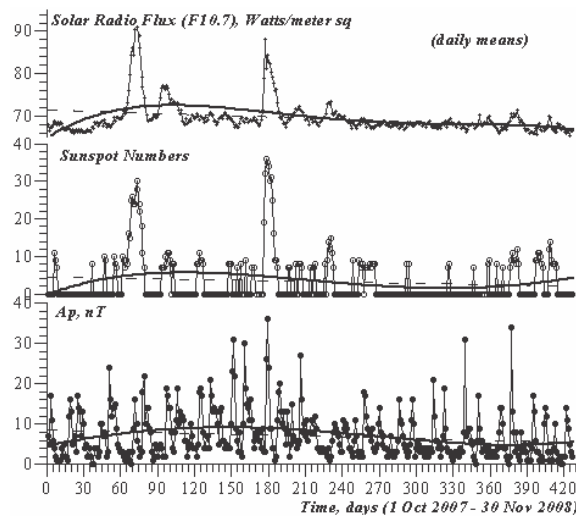


Рис. 1. Среднесуточные значения индексов солнечной и геомагнитной активностей. Сверху вниз – $F10.7$, числа Вольфа и A_p . Штриховые линии соответствуют прямолинейной аппроксимации, представляющей тренд значений за период 1 октября 2007 г. – 30 ноября 2008 г. Гладкие сплошные линии, выявляющие годовые вариации, соответствуют аппроксимациям полиномами четвертой степени.

По кривым же полиномиальной аппроксимации, проявляющим годовые вариации (продолжительность несколько месяцев), четко прослеживается, что период максимальной геомагнитной активности несколько растянут по сравнению с периодом солнечной активности. Но этого следовало ожидать, если учитывать, что вариации солнечной активности вызывают вариации геомагнитной активности за счет явления электромагнитной

индукции. При этом спад активности от 2007 г. к концу 2008 г., который по предварительным данным является годом минимума, ознаменовывающим начало 24-го цикла 11-летней вариабельности солнечной активности, прослеживается по всем представленным кривым.

Учитывая наиболее точный и/или удобный – в смысле непрерывности, характер временной серии $F10.7$ по сравнению с серией чисел Вольфа, именно эта серия представлена на рис. 2 для привязки серии, основанной на среднечасовых индексах D_{st} , с сериями индексов на рис. 1. Низкочастотная часть вариаций, вызывающая трендовую составляющую во временной серии значений этого индекса, обусловлена вариациями главного геомагнитного поля. Она удаляется в процессе обработки полученной серии значений D_{st} вариаций (Olsen et al., 2005b), предусматривающей также определение E_{st} – внешней и I_{st} – индуцированной, составляющих этих вариаций. Примененная при этом $1D$ модель глубинной электропроводности Земли приводит к соотношениям $E_{st} = 0.79D_{st}$ и $I_{st} = 0.29D_{st}$, позволяющим выделять чисто внешнего происхождения D_{st} вариации от индуцированной ими части, отражающейся в данных обсерваторских наблюдений. Важно также отметить, что в серии D_{st} индексов интенсивность вариаций описывается с учетом знака, проявляющего, в частности, депрессирующее/понижающее влияние кольцевого тока на магнитное поле Земли. В результате некоторые пики активности внешнего поля на этой серии находятся в противофазе с аналогичными пиками, выделенными в сериях $F10.7$ и A_p . В частности, знаки вариаций внутри 27-дневного цикла активности здесь проявляются с точностью до наоборот (рис. 1, 2). При этом пик солнечной активности, наблюдавшийся в октябре 2008 г., находится в большей корреляции с аналогичным пиком на серии этого индекса по сравнению с серией значений A_p индексов. Заметим также, что в представленной серии I_{st} значений проявляются вариации только высоких частот, среднее значение которых составляет всего -0.5 нТл , и, соответственно, средняя скорость трендовых изменений составляет всего 0.0016 нТл/день . В то же время тренд со средним, за рассматриваемый период времени, значением скорости 0.010 нТл/день , присущ серии D_{st} индексов. Соответственно, тренд с чуть меньшим, но того же порядка значением скорости -0.008 нТл/день , присущ серии E_{st} , который к тому же соответствует скорости трендовых изменений, обнаруженных по серии $F10.7 - 0.009 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{день}$.

Очевидно, определенные скорости трендовых изменений серий I_{st} и E_{st} значений являются хорошим критерием, чтобы по ним оценить региональный фон изменений поля в пунктах режимных наблюдений за счет вариаций магнитосферного кольцевого тока и индуцированных им вариаций, вызванных глубинной электропроводностью Земли. В частности, в течение исследуемого 427-дневного периода времени за счет вариаций, представленных серией значений I_{st} индекса, накапливается изменение поля, составляющее значение в 0.68 нТл .

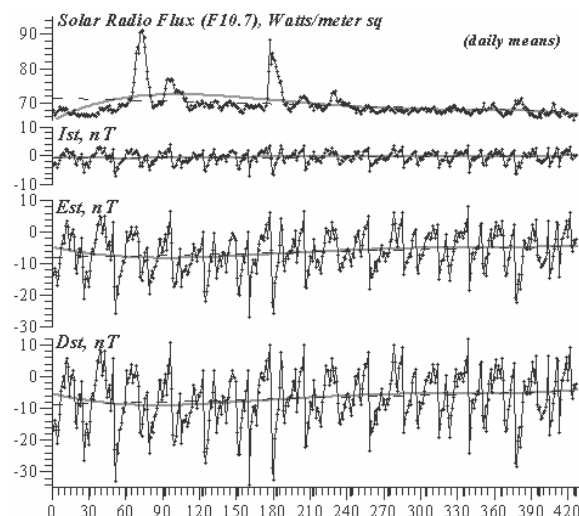


Рис. 2. Сравнение вариаций солнечной активности, представленной серией $F10.7$, с вариациями геомагнитного поля, вызванными кольцевым током (серии D_{st} индексов и их составляющих, определяющих чисто внешние – E_{st} , и индуцированные – I_{st} , вариации) по среднесуточным значениям индексов. Штриховые и гладкие сплошные линии представляют аппроксимацию серий в соответствии с рис 1.

На рис. 3 временные серии среднесуточных значений модуля полного вектора напряженности геомагнитного поля по данным станций “Арктик”, “Бавра” и “Гюлагарак” сравниваются с серией среднесуточных значений D_{st} индексов. Серии аппроксимированы прямыми (штриховые линии), определяющими тренд, и полиномами 4-й степени (жирные линии), определяющими годовые вариации геомагнитного поля, проявляющиеся в пунктах наблюдений.

В данных наблюдений проводимых на поверхности Земли поле литосферы искажается не только полем внешних источников и индуцированными ими вариациями, но и в основном преобладающими над ними по амплитуде относительно медленными вековыми вариациями внутренних источников, связанных с процессами генерации главного магнитного поля Земли и определяющих крупно-региональный фон вековых геомагнитных вариаций. На рисунке 3 светлыми кружочками со шкалой справа представлены величины T , определяющие значения модуля напряженности геомагнитного поля в точках этих станций в течение исследуемого периода времени согласно международным моделям IGRF (International Geomagnetic Reference Field). По выделяющемуся на этих кривых тренду, очевидно, определяется величина изменения поля за исследуемый период времени за счет векового хода поля ядра Земли. Совершенно очевидно также, что вычет этих значений из наблюдаемых данных приведет к лучшему согласию результирующих серий с серией D_{st} индексов (кроме

серии, представленной станцией “Арктик”, которая заслуживает отдельного рассмотрения).

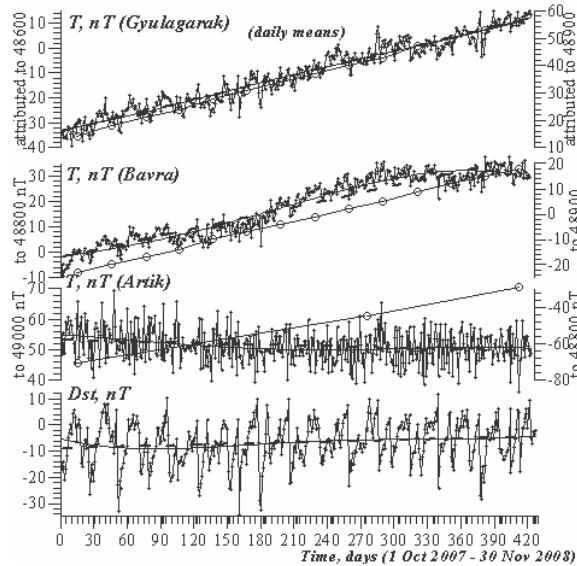


Рис. 3. Серии среднесуточных значений геомагнитного поля по данным наблюдений на станциях “Гюлагарак”, “Бавра” и “Арктик”, относительно базисных значений 48600 нТл, 48800 нТл и 49900 нТл, соответственно – шкалы слева. Шкалами справа, соответствующими светлым кружочкам, представлены месячные значения геомагнитного поля, вычисленные по моделям IGRF. Аппроксимации серий данных те же, как на рис. 1-2.

На самом деле, по высокочастотной части вариаций исследуемые серии разумно согласованы как между собой, так и, что более представительно, с серией D_{st} индексов. Важно отметить, что хоть и сильно подавленные по амплитуде, но проявленные на сериях наблюдений вариации 27-дневной периодичности соответствуют вариациям, выделяемым на серии значений D_{st} индексов. Однако интересно, что отрицательный пик в годовых вариациях индексов активности, который приурочен к зимнему и/или весеннему сезону, ни на одной серии магнитометрических станций не выделяется. При сравнении выявленных на сериях наблюдений амплитуд высокочастотных вариаций (рис. 3) с аналогичными амплитудами, выявляющимися на серии I_{st} индексов (рис. 2), обнаруживается, что они часто очень близки. Это позволяет полагать, что использование последней для удаления индуцированной внешними вариациями части регионального поля будет продуктивным при выделении и анализе локальных особенностей вариаций внутриземной природы, зарегистрированных в пунктах режимных магнитных наблюдений. Важно также отметить, что на серии станции “Бавра” четко выделяется сезонный ход в виде положительного – относительно биаса, пика с центром в летние месяцы. Заслуживает особого внимания и

дальнейшего более детального анализа факт, что годовые вариации, выделяющиеся на сериях индексов солнечной и геомагнитной активности, имеют несравнимо малую амплитуду (рис. 1-2). С учетом того, что дипольного характера поле кольцевого тока рассчитывается по данным низкоширотных обсерваторий, при использовании серии индексов, представляющих вариации кольцевого тока в расчетах влияния внешних вариаций, их следует умножить на величину, равную косинусу широты точки расположения магнитной станции.

Заключение. Проанализированы серии индексов солнечной и геомагнитной активностей и изучен амплитудно-временной состав внешних вариаций, а также индуцированного ими поля с целью их использования для выделения и изучения вариаций, вызванных источниками, связанными со структурно-динамическими особенностями литосферы Земли. Длина серий, представляющих вариации внешних источников, была ограничена периодом от 1 октября 2007 г. по 30 ноября 2008 г., который оказался наиболее полно обеспеченным непрерывными рядами данных режимных наблюдений модуля полного вектора геомагнитного поля (T), проводимых на станциях, действующих на территории Армении.

В результате в сериях индексов, представляющих вариации, вызванные солнечной активностью, помимо высокочастотных вариаций, связанных с изменением активности суточных S_r - вариаций, выявлены годовые или сезонные вариации малой амплитуды.

За исследуемый период времени оценена скорость трендовых изменений в сериях значений индексов солнечной и геомагнитной активностей, которой определяется вклад вариаций внешних источников в медленные и/или вековые вариации магнитного поля, наблюдаемого на поверхности Земли. Определение из международных моделей IGRF T -значений позволило оценить доминирующий в данных наблюдений по величине вклад медленных вариаций, связанных с полем ядра Земли.

Показана эффективность использования серий значений D_{st} индексов, определяющих вариации кольцевого тока, при качественном и количественном анализе внешних вариаций и индуцированного ими поля для выделения наблюдаемых на территории нашей республики локальных геомагнитных вариаций, источником которых являются структура и состав земной коры и верхней мантии, и/или процессы, протекающие в них.

Работа выполнена в рамках проекта #496 ГК по науке МОН РА.

ЛИТЕРАТУРА

- Григорян А.Г. Изменения локального геомагнитного поля внешнего происхождения на примере Армении. Физика Земли, № 6, 2007, с. 88-95.
Грушинский Н.П., Сажина Н.Б. Гравитационная разведка. М., Недра, 1988, 364 с.
Оганесян С.Р., Нагапетян В.В., Симонян А.О. Исследование изменений локального геомагнитного поля территории Арм. ССР. Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, т. 39, № 5, 1986, с. 78-80.

- Օգանեսյան Ս.Ր., Սիմոնյան Ա.Օ., Գասպարյան Վ.Ս., Թոփչյան Խ.Ժ.** Аномалия солнечно-суточных вариаций геомагнитного поля на Гегамском полигоне. Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, т. 41, № 3, 1988, с. 66-68.
- Օգանեսյան Ս.Ր.** Локальные аномалии геомагнитного поля как возможные предвестники землетрясений. Ереван, Изд. АН АрмССР, 1990.
- Hulot G., Sabaka T. Olsen N.** The present field. In Geomagnetism. Treatise Geophys., Ed. G. Schubert, Elsevier, New York. v. 5, 2007, p. 33-75.
- Hulot G., Olsen N., Thebault E., Hemant K.** Crustal concealing of small-scale core-field secular variation. Geophys. J. Int. v. 177, 2009, doi: 10.1111/j.1365-246X.2009.04119.x p. 361-366.
- Kuvshinov A., Olsen N.** A global model of mantle conductivity derived from 5 years of CHAMP, Ørsted, and SAC-C magnetic data. Geophys. Res. Lett., v. 33, L18301, 2006, doi: 10.1029/2006GL027083.
- Kuvshinov A., Manoj C, Olsen N., Sabaka T.** On induction effects of geomagnetic daily variations from equatorial electrojet and solar quiet sources at low and middle latitudes. J. Geophys. Res., v. 112, B10102, 2007, Doi: 10.1029/2007jb004955.
- Olsen N., Lowes F., Sabaka T.** Ionospheric and induced field leakage in geomagnetic field models, and derivation of candidate models for DGRF 1995 and DGRF 2000. Earth Planets Space, v. 57, 2005a, p. 1191-1196.
- Olsen N., Sabaka T., Lowes F.** New parameterization of external and induced fields in geomagnetic field modeling, and a candidate model for IGRF 2005. Earth Planets Space, v. 57, 2005b, p. 1141-1149.

Րեցենզենտ Ս. Նազարեյան

ԱՐՏԱՔԻՆ ԱՂԲՅՈՒՐՆԵՐԻ ՎԱՐԻԱՑԻԱՆԵՐԻ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆԸ ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՏԱՐԱԾՔՈՒՄ ՄԱԳՆԻՏԱԿԱՆ ԴԻՏԱՐԿՈՒՄՆԵՐԻ ՏՎՅԱԼՆԵՐԻ ՀԵՏ ՀԱՄԱՐԻՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿՈՎ

Ա.Հ.Միմոնյան, Մ.Վ.Օհանյան, Ա.Ս.Խաչատրյան

Ամփոփում

Աշխատանքում վերլուծվում են Հայաստանի տարածքում ներքին աղբյուրներից առաջացող երկրամագնիսական դաշտերի վարիացիաների որոշման խնդրում խանգարիչ հանգամանք հանդիսացող արտաքին աղբյուրներից առաջացող մագնիսական դաշտերի ամպլիտուդա-հաճախային բնութագրերը: Երկրի վերին շերտերի կազմի և կառուցվածքի անհամասեռությունների, ինչպես նաև այնտեղ տեղի ունեցող դինամիկ պրոցեսների հետ կապված երկրամագնիսական վարիացիաների լոկալ անոմալիաների առանձնացման նպատակով գնահատվում են արտաքին և դրանցից ինդուկցված ռեզիոնալ դաշտերի ֆոնային արժեքները Արեգակնային և երկարամագնիսական ակտիվության ինդեքսների ժամանակային շարքերի վերլուծության միջոցով:

**THE ANALYSIS OF VARIATIONS OF EXTERNAL SOURCES IN
COMPARISON TO DATA OF MAGNETIC OBSERVATIONS WITHIN THE
TERRITORY OF ARMENIA**

A.O.Simonyan, M.V.Ohanyan, A.S.Khachatryan

Abstract

In the work amplitude-frequency characteristics of magnetic fields of the external sources acting in a role of hindrances at definition of variations of sources of the intra terrestrial nature in territory of Armenia are analyzed. For the purpose of allocation of local anomalies of the variations caused by structural and composition heterogeneities in the upper layers of the Earth as well as dynamic processes proceeding in them, the regional background of external variations and the component induced by them by means of the analysis of temporal series of solar and geomagnetic activity indexes is defined.

ПАМЯТНЫЕ ДАТЫ

МАРИНА АЛЕКСЕЕВНА ФАВОРСКАЯ (К столетию со дня рождения) (1912-2003)



Геологическая научная общность Армении считает своим долгом воздать должное памяти признанного специалиста в области магматизма, палеовулканизма, геохимии и металлогении, заведующего лабораторией тектоно-магматических методов прогноза минеральных месторождений ИГЕМ РАН, доктора геолого-минералогических наук, профессора Марины Алексеевны Фаворской.

М.А.Фаворская принадлежала к славной плеяде известных ученых-геологов, которые в 40-90-х годах прошлого столетия обогатили геологическую науку Союза трудами первостепенного значения, определившими

дальнейшее развитие ее некоторых направлений. Более 50 лет (с 1941 по 1996гг.) она была ведущим научным сотрудником ИГЕМ РАН, долгие годы была членом редколлегий журналов "Советская геология", "Global Tectonics and Metallogeny", "Природа", а также членом Петрографического и Тихоокеанского Комитетов СССР, председателем геологической секции в Союзе обществ дружбы с зарубежными странами.

М.А.Фаворская родилась 7 февраля 1912г. в Санкт-Петербурге, в семье академика-химика А.Е.Фаворского. Она получила прекрасное образование и унаследовала блестящие качества высококультурной, широкообразованной русской интеллигенции, которые пронесла через всю свою жизнь. В 1937г. М.Фаворская с отличием окончила геолого-почвенно-географический факультет ЛГУ по специальности "геология" и поступила в аспирантуру Геологического института АН СССР под руководством академика Д.С.Белянкина, работая в Сванетии, Казахстане, на Памире и Урале. В 1943 г. М.Фаворская защитила кандидатскую диссертацию "Неоинтрузии Верхней Сванетии". С того же времени в должности старшего сотрудника Геологического института она начала работать в Восточно-Сибирской экспедиции, которую возглавляла с 1956 по 1965гг. Работы, посвященные магматизму и тектонике Приморья и Сихотэ-Алиня, были поистине первопроходческими. В 1954г. М.Фаворская

защитила докторскую диссертацию "Верхнемеловой-кайнозойский магматизм Сихотэ-Алиня", которая отдельной монографией вышла в свет в 1956г. Основные положения этой работы сохранили свое научное значение до сих пор и стали фундаментом последующих исследований на Дальнем Востоке.

К началу 60-х годов в научной деятельности М.А.Фаворской особое место заняла Армения, когда она приняла руководство аспирантами, изучавшими широко развитые в регионе меловые и палеогеновые вулканические формации. Ее ежегодные приезды, участие в экспедициях по Армении, консультации и обсуждения значительно способствовали научному росту многих молодых сотрудников ИГН АН Арм.ССР. Эти работы по существу заложили основы палеовулканологического направления исследований в Армении. Их результатом явились успешно защищенные в ИГЕМ АН СССР диссертации, а также изданная в 1968г. в Москве издательством "Наука" коллективная монография "Связь мелового и палеогенового вулканизма Армении с типами развития геосинклинальных прогибов" под редакцией М.Фаворской. М.Фаворская принимала также большое участие в составлении и редактировании IV тома "Геология Армянской ССР. Вулканические породы" (1974). Эти публикации подводили итоги целого периода систематических исследований палеовулканизма Армении и получили широкое признание за пределами республики.

Проблемы связи магматизма и эндогенного оруденения долгие годы оставались в центре внимания исследований М.Фаворской и ее сотрудников. В 1966-1990гг. их разработка получила более глубокое развитие и вышла на уровень глобальных обобщений. Главнейшим творческим достижением М.А.Фаворской стало создание принципиально новой металлогенической концепции о специфических, общих характеристиках крупных и уникальных по запасам рудных месторождений, которым свойственны особая тектоническая позиция и особая история формирования. Ею была предложена гипотеза "рудоконцентрирующих структур"- глубинных сквозных систем нарушений, соответствующих тектоническому плану докембрийского фундамента. Основополагающее значение придавалось изучению геологических и геохимических аномалий и условиям формирования узлов длительной эндогенной активности, контролирующих размещение именно этого типа месторождений. Широкомасштабные комплексные исследования М.А.Фаворской и соавторов обобщены в более чем 20 коллективных и авторских монографиях. Среди них следует особенно отметить: "Связь магматизма и эндогенной металлогении с блоковой тектоникой" (1969), "Глобальные закономерности размещения крупных месторождений" (1974), "Магматизм рудоконцентрирующих структур Приморья" (1982), "Рудоконцентрирующие структуры Азии и их металлогения" (1983), "Основные проблемы связи оруденения и магматизма" (1987) и др. Практическая значимость подобного комплексного подхода была показана на примере открытия в пустыне Гоби, в

Монголии, крупного редкометального месторождения Хушугай-Худук (1974). Актуальность идей, новизну подходов и большой вклад авторов в развитие металлогенической науки уже в те годы были высоко оценены признанным специалистом в области металлогении академиком И.Г.Магакьяном (1976). Итоги многочисленных международных и российских металлогенических проектов 1993-2004гг., ориентированные на решение глобальных проблем формирования и размещения крупных и уникальных месторождений, в большинстве случаев подтвердили результаты исследований М.А.Фаворской и ее группы.

М.А.Фаворская была очень требовательным и ответственным научным руководителем, она подготовила много аспирантов и научных сотрудников в Москве, на Камчатке, в Армении, в Средней Азии. 14 из них защитили кандидатские, 8-докторские диссертации, двое были избраны членами Академий Наук. Для своих учеников она была примером бесконечной преданности избранному в науке пути и в то же время по-особому ценила в людях честность и порядочность, очень дорожила теплыми, добрыми человеческими отношениями. Большое место в духовной жизни Марины Алексеевны занимало литературное творчество. Она была автором двух сборников рассказов, стихотворений, целого ряда научно-популярных статей и воспоминаний опубликованных в журналах «Звезда», «Природа», «Наука и жизнь». В ее художественном наследии есть также рассказы, посвященные Армении – дань ее уважения к древней истории Армении, любви к ее удивительной природе и людям.

В кругу геологов Армении разных поколений М.А.Фаворская пользовалась большим авторитетом, уважением и признанием. Такой она осталась в благодарной памяти ее учеников и коллег, всех кому посчастливилось общаться с этим большим ученым, замечательным человеком и искренним другом Армении.

**Институт геологических наук НАН Армении,
Редакция журнала «Известия НАН Армении,
серия Науки о Земле».**

ՀԻՇԱՐԺԱՆ ՏԱՐԵԹՎԵՐ

ՍՈՒՐԵՆ ՍՈՎՐԱՏԻ ԴԱՐԲԻՆՅԱՆ
(ծննդյան 80-ամյակին)



2011թ. լրացավ կառույցների սեյսմա-կայունության տեսության բնագավառում ճանաչված բազմալաստակ գիտնական, Երևանի ճարտարապետության և շինարարության պետական համալսարանի դասախոս, ֆիզիկա-մաթեմատիկական գիտությունների դոկտոր, պրոֆեսոր Սուրեն Սոկրատի Դարբինյանի 80-ամյակը:

Ս.Դարբինյանը ծնվել է 1931թ. մայիսի 10-ին, Տավուշի մարզի Տավուշ գյուղում:

1953թ. գերազանցությամբ ավարտել է Երևանի պետական համալսարանի ֆիզիկա-մաթեմատիկական ֆակուլտետը և աշխատանքի անցել ՀԽՍՀ ԳԱ

Շինանյութերի և շինարարական կառուցվածքների գիտահետազոտական ինստիտուտում (ԱԻՍՄ):

1963-1993թթ. աշխատել է Հայաստանի ԳԱ Երկրաֆիզիկայի և ինժեներային սեյսմաբանության ինստիտուտում որպես ավագ գիտաշխատող, բաժնի վարիչ, գիտության գծով փոխտնօրեն:

Շուրջ 30 տարի անընդմեջ Ս.Դարբինյանը գիտական աշխատանքին զուգահեռ դասավանդել է ՀՀՊՀ Գյումրիի մասնաճյուղում: 1977թ. Մոսկվայում հաջողությամբ պաշտպանել է դոկտորական ատենախոսություն և ստացել ֆիզ.-մաթ. գիտությունների դոկտորի գիտական աստիճան: Հեղինակ է ավելի քան 80 գիտական հոդվածների, համահեղինակ երկու մենագրությունների, զեկուցումներով հանդես է եկել միջազգային և համամիութենական մի շարք գիտաժողովներում: Նրա ղեկավարությամբ պաշտպանվել են հինգ թեկնածուական ատենախոսություններ:

Մեծ է Ս.Դարբինյանի ավանդը Գյումրիի ՀՀ ԳԱԱ Երկրաֆիզիկայի և ինժեներային սեյսմաբանության ինստիտուտի ստեղծման և զարգացման գործում: Նրա ղեկավարությամբ այնտեղ կազմակերպվել են տարբեր լաբորատորիաներ, այդ թվում նաև առաջին հաշվողական կենտրոնը:

Անվանի ակադեմիկոս Ա.Նազարովի հետ համատեղ Ս.Դարբինյանը մշակել է գործիքային հիմքով սեյսմիկ բալայնության որոշ-

ման սանդղակ: Նա ակտիվ գիտական գործունեություն է ծավալել Սպիտակի երկրաշարժի հետևանքների ուսումնասիրման ուղղությամբ, որի համար պարգևատրվել է ՀՀ Կառավարության պատվոգրով: Պարգևատրվել է նաև Հայաստանի Գերագույն խորհրդի և ԳԱԱ մի շարք պատվոգրերով, Ռենտգենի անվան մեդալով: Մինչև ԽՍՀՄ-ի փլուզումը Ս.Դարբինյանը “Ինժեներային սեյսմաբանություն” հանդեսի գլխավոր խմբագիրն էր:

Սկսած 1993թ. պրոֆեսոր Ս.Դարբինյանն աշխատում է Երևանի ճարտարապետության և շինարարության պետական համալսարանում, տարբեր տարիների զբաղեցնելով շինարարական մեխանիկայի, նյութերի դիմադրության, տեսական մեխանիկայի ամբիոնների վարիչի պաշտոնները: Այժմ էլ նա շարունակում է գիտամանկավարժական գործունեությունը նշված համալսարանում՝ փոխանցելով իր հարուստ գիտելիքները և փորձը երիտասարդ սերնդին:

Զերմորեն շնորհավորում ենք պրոֆեսոր Ս.Դարբինյանին ծննդյան 80-ամյակի կապակցությամբ, ցանկանալով նրան քաջառողջություն և երկար տարիների բեղմնավոր գիտական գործունեություն:

**ՀՀ ԳԱԱ “Գիտություններ Երկրի մասին”
տեղեկագրի խմբագրություն**

**ՀԱՅԿ ԱՂԱԲԵԿԻ ՂԱԶԱՐՅԱՆ
(1921-2011)**



2011թ. օգոստոսին, 90 տարեկան հասակում, կյանքից հեռացավ վաստակաշատ երկրաբան, ՀՀ ԳԱԱ Երկրաբանական գիտությունների ինստիտուտի ավագ գիտաշխատող, 1963-1990թթ. ինստիտուտի Վարդենիսի գիտահետազոտական բազայի վարիչ, երկրաբանա-հանքաբանական գիտությունների թեկնածու Հայկ Աղաբեկի Ղազարյանը:

Հ.Ղազարյանը ծնվել է 1921թ. մայիսի 8-ին, Արարատի մարզի Չանախչի (այժմ՝ Զանգակատում) գյուղում: 1938թ., ավարտելով Երևանի Մյասնիկյանի անվան միջնակարգ դպրոցը, երկու տարի

աշխատել է որպես տեխնիկ:

1940թ. Հ.Ղազարյանն ընդունվել է Երևանի պետական համալսարանի երկրաբանական ֆակուլտետ, սակայն ժողովրդի թշնամու զավակի պիտակով հեռացվել է համալսարանից և աշխատել մի շարք շինարարական կազմակերպություններում: 1944թ.-ից շարունակել է ուսումը և 1948թ. ավարտել համալսարանը՝ ստանալով երկրաբանի որակավորում:

1948թ. Հ.Ղազարյանը աշխատանքի է նշանակվել Ղազախստանի ԽՍՀ Կարագանդայի երկրաբանական վարչությունում և աշխատել Ջետի-Կզի, Սագ-Տյուբե, Կոլդիբայ-Շոքո հանքավայրերում սկզբում երկրաբանի, ապա արշավախմբի պետի պաշտոններում: 1951-1953թթ. ղեկավարել է Կենտրոնական Ղազախստանի Եշկե-Ուլմես խրիզոտիլ-ասբեստի խոշոր հանքավայրի երկրաբանահետախուզական աշխատանքները:

1953թ. Հ.Ղազարյանը ընդունվել է Հայաստանի ԳԱ Երկրաբանական գիտությունների ինստիտուտի ասպիրանտուրան պետրոգրաֆիա մասնագիտությամբ: Մոսկվայի պետական համալսարանի պրոֆեսոր, ճանաչված գիտնական Վ.Կոպտև-Դվորնիկովի ղեկավարությամբ անցնելով պետրոգրաֆիայի փայլուն դպրոց, Հ.Ղազարյանը դարձավ բարձրակարգ մասնագետ և իր ամբողջ հետագա գիտական գործունեությունը կապեց Երկրաբանական գիտությունների ինստիտուտի հետ:

Առաջին տարիներին նրա կողմից իրականացված գիտահետազոտական աշխատանքներն առնչվում են Սոմխեթ-Ղարաբաղյան

գոտու մագմատիկ ապարների պետրոգրաֆիայի, նյութական կազմի, առաջացման պայմանների, նրանց հետ կապված օգտակար հանածոների հանքավայրերի և այլ հարցերի պարզաբանման հետ:

1963թ. Հ.Ղազարյանը Մոսկվայի Պետական համալսարանում հաջողությամբ պաշտպանում է թեկնածուական թեզն՝ արժանանալով երկրաբանա-հանքաբանական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի:

1963-1990թթ. Հ.Ղազարյանը ղեկավարել է ՀՀ ԳԱԱ ԵԳԻ Վարդենիսի գիտահետազոտական բազան՝ զբաղվելով Սևանի ավազանի երկրաբանական կառուցվածքի, մագմատիկ ապարների և, մասնավորապես, Սոտքի (Ձոդ) հանքավայրի շրջակայքի երկրաբանական քարտեզագրական աշխատանքներով: Նրա հետազոտություններն ուղղված էին նաև օֆիոլիթային համալիրներ կազմող գոյացումների պետրոգրաֆիական, երկրաբանա-հասակային բնութագրերին և առաջացման պայմաններին առնչվող հարցերին:

Հ.Ղազարյանի հետագա տարիների ուսումնասիրությունները նվիրված էին գլխավորապես Վայոց Ձորի շրջանի և Վարդենիսի լեռնաշղթայի մեզո-կայնոգոյան հասակի լայն տարածում ունեցող հրաբխածին, էքստրուզիվ և ինտրուզիվ առաջացումների երկրաբանական քարտեզագրությանը, պետրոգրաֆիական առանձնահատկություններին, առաջացման պայմաններին և դրանց հետ կապված օգտակար հանածոների հանքավայրերի ձևավորման խնդիրներին:

Հ.Ղազարյանը հեղինակ է շուրջ 70 տպագիր գիտական հոդվածների, համահեղինակ 4 մենագրությունների և 17 ձեռագիր գիտական աշխատությունների:

Նրա երկարամյա և անբասիր գործունեությունն արժևորվել է մի շարք Կառավարական պարգևներով և ՀՀ ԳԱԱ Նախագահության Գովեստագրով:

Երկրաբանության տարբեր բնագավառներում Հ.Ղազարյանի ձեռք բերած գիտական նվաճումներն իրենց արժանի տեղն են գրավում հանրապետության տարածքի երկրաբանական կառուցվածքի տարբեր խնդիրների պարզաբանման գործում: Նա մեծ հեղինակություն էր վայելում երկրաբանական հանրության շրջանում որպես պետրոգրաֆիայի հմուտ մասնագետ, ով իր գիտելիքները սիրով փոխանցում էր գործընկերներին և երիտասարդներին:

Բազմավաստակ գիտնականի, մարդկային բարձր արժանիքներով օժտված համեստ, ընկերասեր անձնավորության, ընտանիքի նվիրված հոր և արժանի քաղաքացու հիշատակը վառ կմնա գործընկերների և բոլոր նրան ճանաչողների սրտերում:

**ՀՀ ԳԱԱ Երկրաբանական գիտությունների ինստիտուտ,
ՀՀ ԳԱԱ “Գիտություններ Երկրի մասին”
տեղեկագրի խմբագրություն**